

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日 2004年 3月16日  
Date of Application:

出願番号 特願2004-074874  
Application Number:

パリ条約による外国への出願  
用いる優先権の主張の基礎  
なる出願の国コードと出願  
号  
e country code and number  
your priority application,  
be used for filing abroad  
er the Paris Convention, is

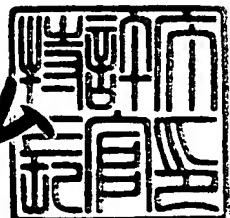
J P 2004-074874

出願人 大日精化工業株式会社  
Applicant(s): 独立行政法人産業技術総合研究所

2010年 6月 4日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

細野哲34



出証番号 出証特2010-3017314

【書類名】 特許願  
 【整理番号】 7X1-0041  
 【提出日】 平成16年 3月16日  
 【あて先】 特許庁長官 殿  
 【国際特許分類】 G02B 26/08  
 G02B 6/32  
 H01S 3/101

【発明者】  
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋馬喰町1丁目7番6号 大日精化工業株式会社内  
 【氏名】 田中 教雄

【発明者】  
 【住所又は居所】 神奈川県伊勢原市高森3丁目5番5号  
 【氏名】 上野 一郎

【発明者】  
 【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
 【氏名】 平賀 隆

【発明者】  
 【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
 【氏名】 谷垣 宣孝

【発明者】  
 【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
 【氏名】 溝黒 登志子

【発明者】  
 【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
 【氏名】 山本 典孝

【発明者】  
 【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
 【氏名】 望月 博孝

【特許出願人】  
 【持分】 50/100  
 【識別番号】 000002820  
 【氏名又は名称】 大日精化工業株式会社

【特許出願人】  
 【持分】 50/100  
 【識別番号】 301021533  
 【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【代理人】  
 【識別番号】 100075258  
 【弁理士】 吉田 研二  
 【氏名又は名称】

【選任した代理人】  
 【識別番号】 100096976  
 【弁理士】 石田 純  
 【氏名又は名称】

【持分の割合】 50/100  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 001753  
【納付金額】 10,500円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1

## 【書類名】特許請求の範囲

## 【請求項1】

複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータサーバー装置からデータを提供するデータ配信装置であって、

少なくともデータサーバー装置、データ通信部、および、クライアント装置からなり、前記データ通信部は、少なくとも、光スイッチ、光信号路、光信号送信部、光信号受信部、および、データ送受信制御部からなり、

前記光信号送信部は、少なくとも

1種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、

前記データ送受信制御部からの制御信号に応じて、前記信号光とは異なる1種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源とを有し、

前記光スイッチは、少なくとも

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する1つ以上の光吸収層膜と、

前記光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射する、信号光の開き角度を拡大させて出射する、または、通常の開き角で出射する1つ以上の熱レンズ形成素子と、

前記各熱レンズ形成素子の各々後方に設けられた、穴と反射手段とを有する鏡であって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子を出射した信号光を前記穴に通過させ、または、前記反射手段により反射させることによって光路を変化させる鏡と、

を備えることを特徴とする光制御式光路切替型データ配信装置。

## 【請求項2】

前記データ通信部は、少なくとも、任意の大きさのデジタル情報を固定長ないし可変長の光デジタル信号の集まりとしての光パケットに分割して前記信号光として照射・送信し、

前記光パケットの照射に同期させて、前記光パケット毎に送信先クライアント装置についての識別情報を表す光タグを前記制御光として照射して前記光スイッチを作動させることを特徴とする請求項1に記載の光制御式光路切替型データ配信装置。

## 【請求項3】

光信号に変換されたデータを搬送する1種類以上の波長の信号光と、

データの搬送先に対応して制御光光源から照射される、前記信号光とは異なる1種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する1つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む1つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射させ、信号光の開き角度を拡大させて出射させ、または、通常の開き角で出射させ、

反射面を有する穴付ミラーを用い、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子から出射した信号光を前記穴から通過直進させ、または、反射面で反射させることによって光路を変更させて、

複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータを配信することを特徴とする光制御式光路切替型データ配信方法。

## 【請求項4】

前記信号光は、任意の大きさのデジタル情報が固定長ないし可変長のデジタル信号の集まりとして分割されたパケットを光パケットとして搬送し、

前記制御光は、前記光パケット毎に送信先クライアント装置についての識別情報を表す光タグとして前記光パケットの照射に同期させて照射され、前記光パケットの光路を変更することを特徴とする請求項3に記載の光制御式光路切替型データ配信方法。

【請求項5】

複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータサーバー装置からデータとしてデジタル静止画像または動画像を配信することを特徴とする請求項1に記載の光制御式光路切替型データ配信装置。

【請求項6】

複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータサーバー装置からデータとして医療用デジタル静止画像または動画像を配信することを特徴とする請求項1に記載の光制御式光路切替型データ配信装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法

【技術分野】

【0001】

本発明は光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法に関する。更に詳しくは、企業のオフィス、工場、病院、一般家庭などにおいて、高精細画像データおよび高精細動画データなどの大容量デジタルデータを、サーバーから複数のクライアントの特定の1箇所へ、高速に配信するための光パケット通信方式の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法に関する。

【背景技術】

【0002】

パーソナルコンピューターおよびその周辺機器の著しい進歩の結果、高精細静止画像や動画画像などをデジタル化して記録した大容量デジタルデータを取り扱うことが日常化している。例えば、従来のカラーテレビジョン放送を一般家庭において、デジタル化してパーソナルコンピューターのハードディスク型記憶装置やDVDなどの光記録媒体に記録した場合、放映時間1時間当たり数GBの大容量デジタルデータを取り扱うことになる。また、診断用医療機器の高度化にともない画素数1600×1200を越える超高精細静止画像やデジタルハイビジョン画像が、例えばガンの早期発見のために用いられている。一例として、画素数1600×1200の人体断層画像を1000枚組み合わせてディスプレイ上に「3次元」表示することで、1mm未満の早期ガンの発見も可能ともいわれている。

【0003】

近年、ハードディスク型記憶装置の容量が増大したため、このような高精細静止画像および動画の記録に関しては特に問題はない。しかしながら、離れた場所（病院内の別の部屋、大学病院の教室；遠隔治療のための別の場所）へ迅速に画像データを転送・送信するには「1Gbps」の高速LANを用いても数分ないし数十分の時間を要する。そこで、大容量デジタルデータを一旦、DVDなどの光記録媒体に記録して移動させることも行われているが、その場合には、記録および記録媒体の運搬に多大の時間を要することになる。また、医療用途では「電磁波障害対策」も必須であり、高速デジタルデータの送受信および伝送路切替に伴う電磁波の発生を極小化し、更に、外部からの電磁波からの干渉を受けなくするため、充分に電磁波シールドが施された送信側装置から光信号に変換された大容量デジタルデータを、途中で電気信号を一切用いず、光信号のまま、充分に電磁波シールドが施された受信側装置へ配信することが望まれる。

【0004】

現在、データ通信速度10ないし40Gbps程度の「光トランシーバー」が大量生産されつつあるため、光ファイバーを活用したデータ配信装置の送信側と受信側についても技術的な課題は少ない。現在、光信号を用いるデータ配信分野において、最も開発が望まれている技術課題として、データ配信装置（サーバー）から複数のクライアント装置の特定の1箇所以上を選択して高速に配信するための、電気信号を経由しない光路切替装置（光スイッチ）、すなわち、光-光直接スイッチが求められている。

【0005】

光ファイバー、光導波路、あるいは、空間を伝搬する光の進む道筋、すなわち、光路を切り替える装置・方法としては、例えば、光導波路内または光導波路間で光路を切り替える空間分割型、多重化された複数の波長の光を波長に応じた光路へ分割して切り替える波長分割多重型、一定時間毎に時分割多重化された光の光路を切り替える時分割多重型、空間を伝搬する光の光路を鏡やシャッターなどを用いて空間的に分割・合成するフリースペース型などの方式が知られている。これら的方式は、各々多重化することも複数を組み合わせて使用することもできる。

【0006】

空間分割型光スイッチには、方向性結合器を利用するもの、光分岐器で光信号のコピーを作り、ゲート素子により光をオン・オフするもの、交差またはY分岐の交差部分で導波

路の屈折率を変化させることで、導波路を伝搬してきた光を透過させたり反射させたりするものなどが提案されているが、まだ研究開発段階である。マッハツエンダー干渉計型光導波路スイッチの導波路の屈折率を変化させるために、電気ヒーター加熱による熱光学効果を用いるものが実用化に近づいているといわれているが、応答速度が1ミリ秒程度と遅いだけでなく、光スイッチを動作させるために電気信号を用いなければならない、という欠点を有する。

#### 【0007】

フリースペース型光スイッチには、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム (Micro Electro Mechanical System; MEMS と略記される。) 、励起子吸収・反射スイッチ (Exciton Absorption Reflection Switch; E A R S スイッチと略記される) 、多段ビームシフタ型光スイッチ、ホログラム型光スイッチ、液晶スイッチなどが検討されている。これらは、機械的可動部分がある、偏波依存性があるなどの課題があり、まだ充分実用段階にあるとはいえない。

#### 【0008】

一方、光学素子に光を照射することで引き起こされる透過率変化や屈折率変化を利用し、直接、光で光の強度や周波数を変調する、全光型光学素子や光制御方式の研究が盛んに行われている。本発明者らは、全光型光学素子等による新たな情報処理技術の開発を目指して、有機色素凝聚集体をポリマーマトリックスに分散した有機ナノパーティクル光熱レンズ形成素子（非特許文献1参照）を用いて、光制御方式の研究を行って来た。現在、制御光（633 nm）により信号光（780 nm）の変調を行う方式で、制御光と信号光を同軸・同焦点入射させることを特徴とし、制御光の吸収により過渡的に形成される熱レンズにより信号光が屈折されるという動作原理の素子を開発しており、約20ナノ秒の高速応答が達成されている。光応答性組成物からなる光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に変化させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法であって、前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点の近傍（ビームウエスト）の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前記信号光の光路を調整することを特徴とする光制御方法が開示されている（特許文献1から特許文献7参照）。光応答性組成物からなる光学素子に、互いに波長の異なる制御光および信号光を照射し、前記制御光の波長は前記光応答性組成物が吸収する波長帯域から選ばれるものとし、前記光応答性組成物が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に発生する温度上昇に起因する密度変化の分布に基づいた熱レンズを可逆的に形成させ、前記熱レンズを透過する信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法が開示されている（特許文献8参照）。そして、上記光学素子として例えば色素／樹脂膜や色素溶液膜が用いられ、制御光のパワー2ないし25 mWにおける制御光照射に対する信号光の応答時間は、2マイクロ秒未満と記載されている（特許文献8参照）。

#### 【0009】

ここで熱レンズ効果とは、光吸収の中心部分において光を吸収した分子などが光を熱に変換し、この熱が周囲に伝搬されることにより温度分布が生じ、その結果、光透過媒体の屈折率が光吸収中心から外部へ向けて球状に変化して光吸収中心の屈折率が低く外部へ向けて屈折率が高くなる分布を生じ、これが凹レンズのように機能するような光の屈折効果を示す。熱レンズ効果は分光分析の分野で古くから利用されており、現在では分子1個による光吸収をも検出するような超高感度分光分析も可能になっている（非特許文献2および非特許文献3参照）。

#### 【0010】

熱レンズ効果ないし熱による屈折率変化を用いて光路を偏向させる方法として、発熱抗体で媒体に熱を与え、媒体内に屈折率分布を生じさせ、光を偏向する方法が開示されている（特許文献9参照）。しかしながら、上述の手法は、発熱抗体で発熱させ、熱伝導で媒体を加熱することになるので、「熱の拡がり」という問題を本的に有する。つまり

、熱の拡がりにより、広い面積内で微細な熱勾配を与えることができず、所望の屈折率分布を得るのが困難である。更に、発熱抵抗体の微細加工は半導体集積回路で用いられているフォトリソグラフィ技術を採用しても、現実には一定の限界を有し、素子が大型化せざるを得ない。素子が大型化すれば、それにともない光学系も複雑かつ大型化する。また、発熱抵抗体で発熱させ、熱伝導で媒体を加熱することになるので、応答が遅く、屈折率変化の周波数を上げることができないという不具合を本質的な問題として有している。

### 【0011】

また、光応答組成物からなる光学素子と、該光学素子にくさび形の光強度分布で光を照射するための強度分布調整手段とから少なくとも構成され、制御光により前記光学素子中に屈折率分布を形成し、該屈折率分布により前記制御光とは異なる波長の信号光の偏向を行なうことを特徴とする光学素子を用いた偏向素子が開示されている（特許文献10参照）。この方式は、光で光を制御する点では優れたものであるが、偏向角度が30度以内という制約があり、光路切替方向を自由に設定することができないという問題がある。

### 【0012】

そこで本発明者らは、偏波依存性のない、光路切替の角度および方向を自由に設定可能な、信号光の光強度減衰が少なく多重連結使用が可能な光路切替装置および光路切替方法を提供するため、少なくとも光吸収層膜を含む熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光、および、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光を各々収束させて照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結ぶように配置を調整し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起る温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態と、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させ、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記通常の開き角度を変更させた後、前記信号光が通過する穴を設けた鏡の穴を通して直進させ、一方、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、あるいは、受光レンズによって前記拡がりの開き角度を変更させた後、前記穴付ミラーを用いて反射することによって光路を変更させる光路切替装置および光路切替方法を出願した（特許文献11および12参照）。

### 【0013】

- 【特許文献1】特開平8-286220号公報
- 【特許文献2】特開平8-320535号公報
- 【特許文献3】特開平8-320536号公報
- 【特許文献4】特開平9-329816号公報
- 【特許文献5】特開平10-90733号公報
- 【特許文献6】特開平10-90734号公報
- 【特許文献7】特開平10-148852号公報
- 【特許文献8】特開平10-148853号公報
- 【特許文献9】特開昭60-14221号公報
- 【特許文献10】特開平11-194373号公報
- 【特許文献11】特願2002-275713号
- 【特許文献12】特願2004-44991号
- 【非特許文献1】平賀隆、田中教雄、早水紀久子、守谷哲郎著、色素会合体・凝集体の作成・構造評価・光物性、「電子技術総合研究所彙報」、通商産業省工業技術院電子技術総合研究所発行、第59巻、第2号、29-49頁（1994年）
- 【非特許文献2】藤原祺多夫、不破敬一郎、小林孝嘉著、レーザー誘起熱レンズ効果

とその比色法への応用、「化学」、化学同人発行、第36巻、第6号、432-438頁（1981年）

【非特許文献3】北森武彦、澤田嗣郎著、光熱変換分光分析法、「ぶんせき」、日本分析化学会発行、1994年3月号、178-187頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

本発明は、機械的可動部分を用いずに故障のない、高速で作動し、耐久性の高い、偏波依存性のない、電磁波障害を起こさず電磁波の影響を受けない、光パケット通信方式に係る光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記の目的を達成するため、本発明の光制御式光路切替型データ配信装置は、複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータサーバー装置からデータを提供するデータ配信装置であって、

少なくともデータサーバー装置、データ通信部、および、クライアント装置からなり、

前記データ通信部は、少なくとも、光スイッチ、光信号路、光信号送信部、光信号受信部、および、データ送受信制御部からなり、

前記光信号送信部は、少なくとも

1種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、

前記データ送受信制御部からの制御信号に応じて、前記信号光とは異なる1種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源とを有し、

前記光スイッチは、少なくとも

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する1つ以上の光吸収層膜と、

前記光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射する、信号光の開き角度を拡大させて出射する、または、通常の開き角で出射する1つ以上の熱レンズ形成素子と、

前記各熱レンズ形成素子の各々後方に設けられた、穴と反射手段とを有する鏡であって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子を出射した信号光を前記穴に通過させ、または、前記反射手段により反射させることによって光路を変化させる鏡と、

を備えることを特徴とする。

【0016】

また、本発明の他の光制御式光路切替型データ配信装置は、上記装置において、前記データ通信部は、少なくとも、任意の大きさのデジタル情報を固定長ないし可変長の光デジタル信号の集まりとしての光パケットに分割して前記信号光として照射・送信し、

前記光パケットの照射に同期させて、前記光パケット毎に送信先クライアント装置についての識別情報を表す光タグを前記制御光として照射して前記光スイッチを作動させることを特徴とする。

【0017】

上記の目的を達成するため、また、本発明の光制御式光路切替型データ配信方法は、光信号に変換されたデータを搬送する1種類以上の波長の信号光と、

データの搬送先に対応して制御光光源から照射される、前記信号光とは異なる1種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する1

つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む1つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起る温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射させ、信号光の開き角度を拡大させて出射させ、または、通常の開き角で出射させ、

反射面を有する穴付ミラーを用い、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子から出射した信号光を前記穴から通過直進させ、または、反射面で反射させることによって光路を変更させて、

複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータを配信することを特徴とする。

#### 【0018】

また、本発明の他の光制御式光路切替型データ配信方法は、上記配信方法において、前記信号光は、任意の大きさのデジタル情報が固定長ないし可変長のデジタル信号の集まりとして分割されたパケットを光パケットとして搬送し、

前記制御光は、前記光パケット毎に送信先クライアント装置についての識別情報を表す光タグとして前記光パケットの照射に同期させて照射され、前記光パケットの光路を変更することを特徴とする。

#### 【0019】

また、本発明の他の光制御式光路切替型データ配信装置は、上記装置において、複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータサーバー装置からデータとしてデジタル静止画像または動画像を配信することを特徴とする。

#### 【0020】

また、本発明の他の光制御式光路切替型データ配信装置は、上記装置において、複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータサーバー装置からデータとして医療用デジタル静止画像または動画像を配信することを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0021】

本発明によれば、機械的可動部分を用いずに故障のない、高速で作動し、耐久性の高い、偏波依存性のない、電磁波障害を起さず電磁波の影響を受けない、光パケット通信方式に係る光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法を提供することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0022】

#### 【光パケット通信の原理】

電気通信の分野におけるパケット通信方式では、任意の大きさのデジタル情報（データ）を固定長ないし可変長のデジタル信号の集まりとしてのパケット（packet；小包）に分割し、パケット毎に送信先および再構成の順序についての識別情報を表すタグ（tag；荷札）を附加して送信し、通信経路上の通信経路制御装置はタグの識別情報に基づいて送信先を特定してパケットを送り届け、受信側ではタグの識別情報に基づいて、パケットに分割された細切れの情報の順位（順序）を揃えて再構成して元の情報を復元・受理している。

#### 【0023】

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法は、このような電気信号のパケットおよびタグを光に置き換えるものである。すなわち、任意の大きさのデジタル情報（データ）を固定長ないし可変長の光信号の集まりとしての光パケットに分割して信号光として送受信し、光パケット毎に送信先についての識別情報を表す「光宛先タグ」、および、再構成の順序についての識別情報を表す「光順位タグ」を附加して送信し、通信経路上の光制御式光スイッチは光宛先タグの識別情報に基づいて送信先を特定して光パケットを送り届けるために作用し、受信側では光順位タグの識別情報に基づいて光パケットに

分割されて送信された細切れの情報を再構成して元のデジタル情報を得ようとするものである。ここで、光パケット毎に送信先を表す光宛先タグとしては、信号光とは波長の異なる制御光が用いられ、一方、光パケットの再構成の順序についての識別情報を表す光順位タグについては光パケットそのものに付加されて信号光として送信されるものとする。

#### 【0024】

例えば、図1および図2において、データサーバー装置1000からクライアント装置1201、1202、および、1203へ各々送信されるデータ12010、12020、および、12030などは、データ通信部1100において、データ送受信制御部1140によって、まず、電気信号パケットに分割され、個々の電気信号パケットには電気信号の順位タグが付加された後、光信号送信部1120にて光パケット12011、12021、12031、12012、12013などに変換されて送信され、光信号路1110を通じて光スイッチ1101において、各々の光パケットに同期して光信号送信部1120から照射される光宛先タグ12111、12121、12131、12112、12113などの作用によって光信号路1111、1112、および、1113に光路切替される。これらの光信号路の末端には各々、光信号受信部1131、1132、および、1133が設けられ、ここで受光された光パケットは電気信号パケットに変換され、データ送受信制御部1141、1142、および、1143において電気信号パケット中の順位タグに記録された再構成の順序についての識別情報に基づいて、元のデータ12010、12020、12030などに再構成され、各々、クライアント装置1201、1202、および、1203に電気信号として配信される。図2に示すように、例えば、元のデータ12010は、光パケットの情報部分12311、12312、および、12313に分割されて、光パケットとして光スイッチによって光路切替されて配信された後、光順位タグ12211、12212、および、12213として配信されたデータ再構成の順序についての識別情報に基づいて復元され、クライアント装置1201へ配信される。

#### 【0025】

##### [光パケットと光宛先タグの同期]

光パケットと光宛先タグの同期は、例えば以下のようにして実施される。

#### 【0026】

データ送信側のデータ送受信制御部1140が発生する基準クロックパルスは、例えば図3に示すように、ON状態13000、13002、13004、13006などとOFF状態13001、13003、13005などが交互に同一のパルス時間幅 $t_p$ （例えば125ミリ秒）で並んでいるものとする。光パケット12000、12001などは基準クロックパルスのON状態とOFF状態の双方に対応して発信され、いずれの場合も、基準クロックパルスの立ち上がりおよび立ち下がりから、予め設定された遅延時間 $\Delta t$ に相当する時間だけ遅れて発信されるものとする。この遅延時間 $\Delta t$ は、実施例にて詳細に説明するように、本発明で用いられる光スイッチにおける光路切替に要する時間に応じて設定される（例えば、パルス時間幅 $t_p$ 125ミリ秒に対して、遅延時間 $\Delta t$ 1ミリ秒）。一方、波長の異なる1つ以上の制御光光源から発信される波長（1）、（2）、（3）などの光宛先タグは、基準クロックパルスに同期して発信される。図3に示す例においては、例えば、基準クロックパルスON状態13002に対応して波長（1）の光宛先タグ12111と光パケット12011が、同OFF状態13003に対応して波長（2）の光宛先タグ12121と光パケット12021が、同ON状態13004に対応して波長（3）の光宛先タグ12131と光パケット12031が、それぞれ同期して発信される。また、例えば、光宛先タグ12112と12113が連続して照射・発信された場合は、対応する光パケット12012と12013は対応する同一クライアント装置（この場合、1201）へ連続して配信される。

#### 【0027】

##### [光制御式光路切替型データ配信装置を構成する要素]

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置を構成する要素を図1に示す。以下、これらの要素について順を追って説明する。

## 【0028】

## [データサーバー装置]

データサーバー装置1000は、少なくともデータ収集部1050と送信データ記憶部1010を持ち、更に、通常のコンピューターと同様に入出力制御部1040、補助記憶部、外部記憶部、電源部などからなる。

## 【0029】

データ収集部1050は公知の任意のデータ入力装置からなり、必要に応じて一時記憶装置（バッファメモリ）などの補助記憶部を有しても良い。データ入力装置の具体例としては、例えば、RS-232C、IEEE1394、USB2.0、SCSIなどのデジタルデータ通信規格に準拠した入力インターフェース、フロッピー（登録商標）ディスクドライブ、CDドライブ、DVDドライブ、磁気テープ装置、各種半導体メモリー読み取り装置などの記録媒体読み取り装置、テレビジョン画像のデジタルインターフェースボードなどを挙げることができる。

## 【0030】

送信データ記憶部1010は、公知の任意のデジタルデータ記憶・記録装置からなり、必要に応じて高速に動作する一時記憶装置（バッファメモリ）などの補助記憶部を有しても良い。デジタルデータ記憶・記録装置としては、例えば、ハードディスクドライブ装置、書き込み式DVDドライブ、磁気テープ装置、DVDオートチェンジャーなどの大容量記憶装置を用いることができる。

## 【0031】

## [データ通信部]

データ通信部1100は、データサーバー装置1000に直結したデータ送信側部分、データ送信側と受信側を結ぶ光信号路および光スイッチ、および、クライアント装置1201などに直結したデータ受信側部分からなる。

## 【0032】

データサーバー装置1000に直結したデータ送信側部分は、少なくともデータ送受信制御部1140および光信号送信部1120からなり、必要に応じて、クライアント装置側からの応答信号やデータ送信依頼信号を受信するための光信号受信部1130を設けても良い。なお、クライアント装置からデータサーバー装置への光信号送信は、経由する光スイッチが作動しているタイミングに合わせて行うことができる。

## 【0033】

データ送信側のデータ送受信制御部1140は、送信されるデジタル情報（データ12010など）の電気信号パケットへの分割、個々の電気信号パケット再構成の順序についての識別情報を表す電気信号による順位タグの当該電気信号パケットへの付加、個々の電気信号パケットの一時記憶、個々の光パケットの送信先を表す電気信号による宛先タグが制御光に変換されてなる光宛先タグの送信制御（対応する光パケットとの同期発信）、および、光パケットの送信制御（対応する光宛先タグとの同期発信）を行うものである。また、必要に応じて、データ送信側のデータ送受信制御部は、クライアント装置からデータサーバー装置への応答信号やデータ送信依頼信号の受信を、光スイッチの動作状況に応じて制御する。

## 【0034】

データ送信側の光信号送信部1120の一部分として、光学要素の構成を図4などに示す。図4などにおいて、光信号送信部1120の電子回路は省略されている。

## 【0035】

データ送信側の光信号送信部は、第1に、前記電気信号による順位タグを含む電気信号パケットを信号光120の強弱または断続に変換するために、信号光光源20の発振状態を電気信号パケットのON・OFF信号に対応させて制御し、光パケット12011などとして送信するものであり、第2に、前記光パケットの送信タイミングに合わせて、光信号送信部の1つ以上の制御光光源21、22、23などの発振状態を電気信号による宛先タグに対応させて制御し、光宛先タグ12111などとして送信するものである。データ

送信側の光信号送信部としては公知の任意の方式のレーザー発振制御装置およびレーザー光源を用いることができる。光信号送信部のその他の光学要素については実施例に記載する。

#### 【0036】

データ送信側と受信側を結ぶ光信号路1110としては、自由空間、光ファイバー、および、光導波路の1つ以上を適宜組み合わせて用いることができる。例えば、光信号送信部から光スイッチまでは光ファイバーを、光スイッチ内部では空間を、更に、光信号受信部の内部では光導波路を用いることができる。光ファイバーとしては、マルチモードまたは単一モードの石英ガラス光ファイバーやプラスチック光ファイバーなどを、使用する制御光および信号光の波長における伝送損失特性および伝送距離を考慮して選定し使用することができる。例えば、単一モード石英ガラス光ファイバーの伝送損失は、波長600nmから1.6μmの範囲において5dB/km未満であり、伝送距離が100ないし200m程度であれば、特に伝送損失を意識しないで使用することができる。

#### 【0037】

クライアント装置に直結したデータ受信側部分は、少なくとも、データ受信側のデータ送受信制御部1141などおよび光信号受信部1131などからなり、必要に応じて、クライアント装置側からの応答信号やデータ送信依頼信号をデータサーバー装置へ送信するための光信号送信部1121などを設けても良い。

#### 【0038】

データ受信側のデータ送受信制御部1141、1142、1143などは、受信されて電気信号に変換されたパケット全ての一時記憶、個々のパケットに付加された順位タグ中の送信先を表す部分の確認と誤受信パケットの廃棄、個々のパケット再構成の順序についての識別情報を表す順位タグの確認と一時記憶、および、順位タグの情報に基づくデジタル情報（データ）の再構築を司るものである。また、必要に応じて、データ受信側のデータ送受信制御部は、クライアント装置からデータサーバー装置への応答信号やデータ送信依頼信号の送信を、光スイッチの作動状況に対応させて制御する。

#### 【0039】

データ受信側の光信号受信部は光パケット12011などを受光し、これを電気信号パケットに変換する部分である。ここで、受光された光信号の強弱ないし断続を、ノイズ成分と分離して電気信号にすることが好ましい。

#### 【0040】

データ受信側の光信号受信部およびデータ送受信制御部としては、公知の任意の光通信受信機（光トランシーバー）を、使用する信号光の波長帯域およびデータ転送速度（ビットレート）に応じて選択して用いることができる。

#### 【0041】

##### [クライアント装置]

クライアント装置は、少なくとも、受信データ記憶部1211などまたはデータ表示部1261などを持ち、更に、通常のコンピューターと同様に入出力制御部、補助記憶部、外部記憶部、電源部などからなる。受信データ記憶部は、公知の任意のデジタルデータ記憶・記録装置からなり、必要に応じて高速動作可能な一時記憶装置（バッファメモリ）などの補助記憶部を有しても良い。デジタルデータ記憶・記録装置としては、例えば、ハードディスクドライブ装置、書き込み式DVDドライブなどの大容量記憶装置を好適に用いることができる。

#### 【0042】

以上記載してきた本発明の光制御式光路切替型データ配信装置を構成する要素については、光スイッチを除き、公知のものを公知の方法で使用することで本発明の実施に給することができる。

#### 【0043】

##### [光スイッチ]

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法に用いられる光スイッチの

最少構成要素からなる光路切替機構91を図5に示す。3つの光路切替機構91、92、および、93を空間的に3段構成で接続した光スイッチ1101の概略構成を図4aに例示する（実施例1参照）。また、本発明で用いられる光スイッチの動作原理を説明するための原理図を図11、図12、図13、および、図14に示す。

#### 【0044】

本発明で用いられる光スイッチ1101は、少なくとも前記信号光（光パケット）120、110、111、112などは透過し、前記制御光（光宛先タグ）121、122、123などの特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する1つ以上の光吸収層膜兼熱レンズ形成層502などを含む熱レンズ形成素子1などと、前記光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段（例えば、集光レンズ31、32、33など）と、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起る温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズ50または60を用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、図12（b）に示すように前記収束された信号光を収束させたまま出射する、図12（a）に示すように信号光の開き角度を拡大させて出射する、または、図11（a）または図11（b）に示すように信号光を通常の開き角度で出射する1つ以上の熱レンズ形成素子1、2、3などと、前記各熱レンズ形成素子の各々後方に設けられた、穴161と反射手段とを有する穴付ミラー61であって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子を出射した信号光を前記穴161に通過させ、または、前記反射手段により反射させることによって光路を変化させる鏡61とを備えることを特徴とするものである。

#### 【0045】

以下に、本発明で用いられる光スイッチの構成要素について詳細に説明する。

#### 【0046】

##### 【制御光と信号光とを各々収束させて照射する手段】

本発明で用いられる熱レンズ効果を利用した光スイッチを作動させるに当たり、光吸収層膜兼熱レンズ形成層502の同一領域に制御光と信号光とを各々収束させて照射する手段として、集光レンズあるいは凹面鏡が用いられる。集光レンズとしては通常の凸レンズ31など、非球面凸レンズ、屈折率分布型集光レンズ、複数のレンズからなる顕微鏡用対物レンズ、写真機用レンズ、などを好適に用いることができる。信号光と制御光の波長の相違に応じてレンズ材質の屈折率が異なることに起因する「色収差」を補正するための、屈折率の異なる凸レンズと凹レンズを組み合わせた色収差補正レンズを用いても良い。信号光と制御光を損失なしに光吸収層膜に入射させるためには、集光レンズまたは凹面鏡の有効口径が平行ビームとしての信号光および制御光のビーム径よりも大きくなければならない。また、集光レンズまたは凹面鏡の焦点距離および作動距離（ワーキングディスタンス）に基づいて光吸収層膜との位置関係が設定される。具体例については実施例に記載する。

#### 【0047】

##### 【受光レンズ】

受光レンズは、制御光が照射されずに収束された信号光が通常の開き角度で熱レンズ形成素子から出射する場合と制御光が照射されて信号光が通常の開き角度よりも拡大された開き角度で熱レンズ形成素子から出射するよう設定された場合に、これらの出射信号光を無駄なく受光し、かつ、平行ビームに戻す手段として用いられる。受光レンズとしては、集光レンズの場合と同様のものを用いることができる。ここで「受光レンズ」という表現を用いたが、凹面鏡を用いることもできる。また、ここで、受光レンズの開口数（以下、「NA」と呼ぶ。）は、集光レンズのNAよりも大きくなるよう設定することが推奨される。具体的には、受光レンズのNAを、集光レンズのNAの2倍以上に設定することによって、信号光が通常の開き角度よりも拡大された開き角度で出射する場合であっても損失なしに受光することが可能となる。

#### 【0048】

一方、制御光が照射されたときに収束された信号光が収束されたまま熱レンズ形成素子から出射するよう設定されている場合、出射光のビーム径が細いままであると、後段で再び光スイッチの熱レンズ形成素子へ収束照射する場合や光ファイバーに集光入射させる場合に、光の回折作用によって、充分に収束させることが困難となる。このような場合は収束されたまま出射した信号光をビームエキスパンドしてビーム径を拡大することが推奨される。ビームエキスパンドの手段としては、公知のもの、例えば2枚の凸レンズからなるケプラー型の光学系を用いることができる。

#### 【0049】

##### [波長選択透過フィルター]

本発明で用いられる光スイッチ中の熱レンズ形成素子における制御光の透過率が0%でない限り、透過率に相当する分の制御光も熱レンズ形成素子を透過し、出射して来る。この制御光が後段の熱レンズ形成素子等に入射して誤動作ないしクロストークを起こすことを避けるため、熱レンズ形成素子1、2、3などにおける各々の制御光の透過率を0%に限りなく近づける必要がある。更に、熱レンズ形成素子の後方に波長選択透過フィルター（図4において81, 82, および83）を、設けることが好ましい。これらの波長選択透過フィルターとしては、個々の制御光の波長帯域の光を完全に遮断し、一方、信号光および後段の光スイッチのための制御光の波長帯域の光を効率良く透過することができるような波長選択透過フィルターであれば、公知の任意のものを使用することができる。例えば、色素で着色したプラスチックやガラス、表面に誘電体多層膜を設けたガラスなどを用いることができる。このような波長選択透過フィルター用材料からなる薄膜を受光レンズ（図4において41, 42, および43）の表面に塗工法、スパッタリング法などの手法で形成し、前記波長選択透過フィルターとしての機能を発揮させても良い。

#### 【0050】

##### [熱レンズ形成素子]

本発明において、熱レンズ形成素子としては例えば積層膜型構造を有するものを好適に用いることができ、その積層膜の構成としては例えば以下のような組み合わせを挙げることができる。

#### 【0051】

(1) 光吸収層膜単独。ただし、光吸収層膜は、文字通り「光吸収膜」単独の単層膜、あるいは、「光吸収膜／熱レンズ形成層」という2層構造、または、「光吸収膜／熱レンズ形成層／光吸収膜」という3層構造の積層型薄膜のいずれであっても良い。なお、以下の(2)から(10)の「光吸収層膜」も上記同様の構造を含むものとする。

#### 【0052】

(2) 光吸収層膜／保温層膜

#### 【0053】

(3) 保温層膜／光吸収層膜／保温層膜

#### 【0054】

(4) 光吸収層膜／伝熱層膜

#### 【0055】

(5) 伝熱層膜／光吸収層膜／伝熱層膜

#### 【0056】

(6) 光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

#### 【0057】

(7) 伝熱層膜／光吸収層膜／保温層膜

#### 【0058】

(8) 伝熱層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

#### 【0059】

(9) 伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜

#### 【0060】

(10) 伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

## 【0061】

(11) 屈折率分布型レンズ／（光透過層／）上記（1）ないし（10）の熱レンズ形成素子

## 【0062】

(12) 屈折率分布型レンズ／（光透過層／）上記（1）ないし（10）の熱レンズ形成素子／（光透過層／）屈折率分布型レンズ

## 【0063】

なお、上記「（光透過層／）」とは、必要に応じて光透過層を設けることを意味する。更に、必要に応じて光の入射面および出射面に反射防止膜（A R コート膜）を設けても良い。

## 【0064】

熱レンズ形成素子構成の一例を例示した断面図を図11、図12などに示す。図11に例示するように、熱レンズ形成素子1は、制御光121および信号光110の入射側から、例えば、伝熱層膜501／光吸収層膜兼熱レンズ形成層502／伝熱層膜503の順に積層されてなる。

## 【0065】

また、色素溶液充填式熱レンズ形成素子を例示した模式図を図15に示す。図15に例示するように、色素溶液充填式熱レンズ形成素子800は、伝熱層膜として作用する入射・出射面ガラス801および802、側面ガラス803および804、底面ガラス805に囲まれた光学セル809の色素溶液充填部808へ、導入管806の導入口807から光吸収層膜兼熱レンズ形成層として作用する色素溶液を充填し、導入口807を封じたものである。すなわち、伝熱層膜／光吸収層膜兼熱レンズ形成層／伝熱層膜という素子構成のものである。

## 【0066】

光吸収層膜、熱レンズ形成層、保温層膜、伝熱層膜、光透過層、および屈折率分布型レンズの材料、作成方法、各々の膜厚などについて、以下に、順を追って説明する。

## 【0067】

なお、本発明で用いられる光吸収層膜、熱レンズ形成層、保温層膜、伝熱層膜、光透過層、および屈折率分布型レンズの材料は、その機能に支障をきたさない範囲において、加工性を向上させたり、光学素子としての安定性・耐久性を向上させたりするため、添加物として公知の酸化防止剤、紫外線吸収剤、一重項酸素クエンチャーハンマー、分散助剤などを含有しても良い。

## 【0068】

## [光吸収層膜の材料]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性の材料としては、公知の種々のものを使用することができる。

## 【0069】

本発明で用いられる熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性材料の例を具体的に挙げるならば、例えば、GaAs、GaAsP、GaAlAs、InP、InSb、InAs、PbTe、InGaAsP、ZnSeなどの化合物半導体の単結晶、前記化合物半導体の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、異種金属イオンをドープした金属ハロゲン化物（例えば、臭化カリウム、塩化ナトリウムなど）の単結晶、前記金属ハロゲン化物（例えば、臭化銅、塩化銅、塩化コバルトなど）の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、銅などの異種金属イオンをドープしたCdS、CdSe、CdTeS、CdSeTeなどのカドミウムカルコゲナイトの単結晶、前記カドミウムカルコゲナイトの微粒子をマトリックス材料中に分散したもの、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体単結晶薄膜、多結晶薄膜ないし多孔質薄膜、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、ルビー、アレキサンドライト、ガーネット、Nd:YAG、サファイア、Ti:サファイア、Nd:YLFなど、金属イオンをドープした宝石に相当する単結晶（いわゆるレーザー結晶）、

金属イオン（例えば、鉄イオン）をドープしたニオブ酸リチウム（LiNbO<sub>3</sub>）、LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>LiPO<sub>4</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KNbO<sub>3</sub>、BaB<sub>2</sub>O<sub>2</sub>などの強誘電性結晶、金属イオン（例えば、ネオジウムイオン、エルビウムイオンなど）をドープした石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラス、その他のガラスなどのほか、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したもの、および、非晶質の色素凝集体を好適に使用することができる。

#### 【0070】

これらの中でも、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したものは、マトリックス材料および色素の選択範囲が広く、かつ熱レンズ形成素子への加工も容易であるため、特に好適に用いることができる。

#### 【0071】

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で用いることができる色素の具体例としては、例えば、ローダミンB、ローダミン6G、エオシン、フロキシンBなどのキサンテン系色素、アクリジンオレンジ、アクリジンレッドなどのアクリジン系色素、エチルレッド、メチルレッドなどのアゾ色素、ポルフィリン系色素、フタロシアニン系色素、ナフタロシアニン系色素、3,3'-ジエチルチアカルボシアニンヨージド、3,3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨージドなどのシアニン色素、エチル・バイオレット、ビクトリア・ブルーRなどのトリアリールメタン系色素、ナフトキノン系色素、アントラキノン系色素、ナフタレンテトラカルボン酸ジイミド系色素、ペリレンテトラカルボン酸ジイミド系色素などを好適に使用することができる。

#### 【0072】

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法では、これらの色素を単独で、または、2種以上を混合して使用することができる。

#### 【0073】

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で用いることのできるマトリックス材料は、

(1) 本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で用いられる光の波長領域で透過率が高いこと、

(2) 本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で用いられる色素または種々の微粒子を安定性良く溶解または分散できること、  
という条件を満足するものであれば任意のものを使用することができる。

#### 【0074】

無機系固体状のマトリックス材料としては、例えば金属ハロゲン化物の単結晶、金属酸化物の単結晶、金属カルコゲナイトの単結晶、石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラスなどの他、いわゆるゾルゲル法で作成された低融点ガラス材料などを使用することができる。

#### 【0075】

無機系液体状のマトリックス材料としては、水、水ガラス（アルカリケイ酸塩の濃厚水溶液）、塩酸、硫酸、硝酸、王水、クロルスルホン酸、メタンスルホン酸、トリフルオロメタンスルホン酸、などを使用することができる。

#### 【0076】

また、有機系液体状のマトリックス材料として、例えば種々の有機溶剤を使用することができる。有機溶剤としては、具体的には、メタノール、エタノール、イソプロピルアルコール、n-ブタノール、アミルアルコール、シクロヘキサンノール、ベンジルアルコールなどのアルコール類、エチレングリコール、ジエチレングリコール、グリセリンなどの多価アルコール類、酢酸エチル、酢酸n-ブチル、酢酸アミル、酢酸イソプロピルなどのエステル類、アセトン、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、シクロヘキサンなどのケトン類、ジエチルエーテル、ジブチルエーテル、メトキシエタノール、エトキシエタノール、ブトキシエタノール、カルビトールなどのエーテル類、テトラヒドロフラン、1,4-ジオキサン、1,3-ジオキソラン、などの環状エーテル類、ジクロロメタン

、クロロホルム、四塩化炭素、1、2-ジクロロエタン、1、1、2-トリクロロエタン、トリクレン、ブロモホルム、ジブロモメタン、ジヨードメタン、などのハロゲン化炭化水素類、ベンゼン、トルエン、キシレン、クロロベンゼン、o-ジクロロベンゼン、ニトロベンゼン、アニソール、 $\alpha$ -クロロナフタレンなどの芳香族炭化水素類、n-ペンタン、n-ヘキサン、n-ヘプタン、シクロヘキサンなどの脂肪族炭化水素類、N、N-ジメチルホルムアミド、N、N-ジメチルアセトアミド、ヘキサメチルホスホリックトリアミドなどのアミド類、N-メチルピロリドンなどの環状アミド類、テトラメチル尿素、1、3-ジメチル-2-イミダゾリジノンなどの尿素誘導体類、ジメチルスルホキシドなどのスルホキシド類、炭酸エチレン、炭酸プロピレンなどの炭酸エステル類、アセトニトリル、プロピオニトリル、ベンゾニトリルなどのニトリル類、ピリジン、キノリンなどの含窒素複素環化合物類、トリエチルアミン、トリエタノールアミン、ジエチルアミノアルコール、アニリンなどのアミン類、クロル酢酸、トリクロル酢酸、トリフルオロ酢酸、酢酸などの有機酸の他、ニトロメタン、二硫化炭素、スルホランなどの溶剤を用いることができる。これらの溶剤は、また、複数の種類のものを混合して用いても良い。

#### 【0077】

更に、有機系のマトリックス材料として、液体状、固体状、ガラス状またはゴム状の有機高分子材料を使用することができる。その具体例としては、ポリスチレン、ポリ( $\alpha$ -メチルスチレン)、ポリインデン、ポリ(4-メチル-1-ペンテン)、ポリビニルピリジン、ポリビニルホルマール、ポリビニルアセタール、ポリビニルブチラール、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルアルコール、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルメチルエーテル、ポリビニルエチルエーテル、ポリビニルベンジルエーテル、ポリビニルメチルケトン、ポリ(N-ビニルカルバゾール)、ポリ(N-ビニルピロリドン)、ポリアクリル酸メチル、ポリアクリル酸エチル、ポリアクリル酸、ポリアクリロニトリル、ポリメタクリル酸メチル、ポリメタクリル酸エチル、ポリメタクリル酸ブチル、ポリメタクリル酸ベンジル、ポリメタクリル酸シクロヘキシル、ポリメタクリル酸、ポリメタクリル酸アミド、ポリメタクリロニトリル、ポリアセトアルデヒド、ポリクロラール、ポリエチレンオキシド、ポリプロピレンオキシド、ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート、ポリカーボネート類(ビスフェノール類+炭酸)、ポリ(ジエチレングリコール・ビスアリルカーボネイト)類、6-ナイロン、6,6-ナイロン、12-ナイロン、6,12-ナイロン、ポリアスパラギン酸エチル、ポリグルタミン酸エチル、ポリリジン、ポリプロリン、ポリ( $\gamma$ -ベンジル- $\gamma$ -グルタメート)、メチルセルロース、エチルセルロース、ベンジルセルロース、ヒドロキシエチルセルロース、ヒドロキシプロピルセルロース、アセチルセルロース、セルローストリアセテート、セルローストリブチレート、アルキド樹脂(無水フタル酸+グリセリン)、脂肪酸変性アルキド樹脂(脂肪酸+無水フタル酸+グリセリン)、不飽和ポリエステル樹脂(無水マレイン酸+無水フタル酸+プロピレングリコール)、エポキシ樹脂(ビスフェノール類+エピクロルヒドリン)、ポリウレタン樹脂、フェノール樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂、キシレン樹脂、トルエン樹脂、グアナミン樹脂などの樹脂、ポリ(フェニルメチルシラン)などの有機ポリシラン、有機ポリゲルマンおよびこれらの共重合・共重縮合体が挙げられる。また、二硫化炭素、四フッ化炭素、エチルベンゼン、パーフルオロベンゼン、パーフルオロシクロヘキサンまたはトリメチルクロロシラン等、通常では重合性のない化合物をプラズマ重合して得た高分子化合物などを使用することができる。更に、これらの有機高分子化合物に色素の残基をモノマー単位の側鎖として、もしくは架橋基として、共重合モノマー単位として、または重合開始末端として結合させたものをマトリックス材料として使用することもできる。更に、前記の色素残基とマトリックス材料が化学結合を形成していくても良い。

#### 【0078】

これらのマトリックス材料中へ色素を溶解または分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、色素とマトリックス材料を共通の溶媒中へ溶解して混合した後、溶媒を蒸発させて除去する方法、ゾルゲル法で製造する無機系マトリックス材料の原料溶液へ色素を溶解または分散させてからマトリックス材料を形成する方法、有機高分子系マト

リックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、色素を溶解または分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、色素と有機高分子系マトリックス材料を共通の溶媒中に溶解した溶液を、色素および熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料の両方が不溶の溶剤中へ滴下し、生じた沈殿を濾別し乾燥してから加熱・溶融加工する方法などを好適に用いることができる。色素とマトリックス材料の組み合わせおよび加工方法を工夫することで、色素分子を凝集させ、「H会合体」や「J会合体」などと呼ばれる特殊な会合体を形成させられることが知られているが、マトリックス材料中の色素分子をこのような凝集状態もしくは会合状態を形成する条件で使用しても良い。

#### 【0079】

また、これらのマトリックス材料中へ前記の種々の微粒子を分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、前記微粒子をマトリックス材料の溶液、または、マトリックス材料の前駆体の溶液に分散した後、溶媒を除去する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、前記微粒子を分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、微粒子の前駆体として、例えば過塩素酸カドミウムや塩化金などの金属塩を有機高分子系マトリックス材料中へ溶解または分散した後、硫化水素ガスで処理して硫化カドミウムの微粒子を、または、熱処理することで金の微粒子を、それぞれマトリックス材料中に析出させる方法、化学的気相成長法、スパッタリング法などを好適に用いることができる。

#### 【0080】

色素を単独で、光散乱の少ない非晶質状態（アモルファス）の薄膜として存在させることができる場合は、マトリックス材料を用いずに、非晶質色素膜を光吸收層膜として用いることもできる。

#### 【0081】

また、色素を単独で、光散乱を起こさない微結晶凝集体として存在させることができる場合は、マトリックス材料を用いずに、色素の微結晶凝集体を光吸收層膜として用いることもできる。本発明で用いられる熱レンズ形成素子におけるように、光吸收層膜としての色素微結晶凝集体が、熱レンズ形成層（樹脂など）、伝熱層膜（ガラスなど）および／または保温層膜（樹脂など）と積層されて存在する場合、前記色素微小結晶の粒子径が前記信号光の波長と制御光の波長を比べて短い方の波長の1/5を超えない大きさであれば、実質的に光散乱を起こさない。

#### 【0082】

[光吸收層膜の材料、信号光の波長帯域、および、制御光の波長帯域の組み合わせと順序]

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で使用される光吸收層膜の材料、信号光の波長帯域、および制御光の波長帯域は、これらの組み合わせとして、使用目的に応じて適切な組み合わせを選定し用いることができる。

#### 【0083】

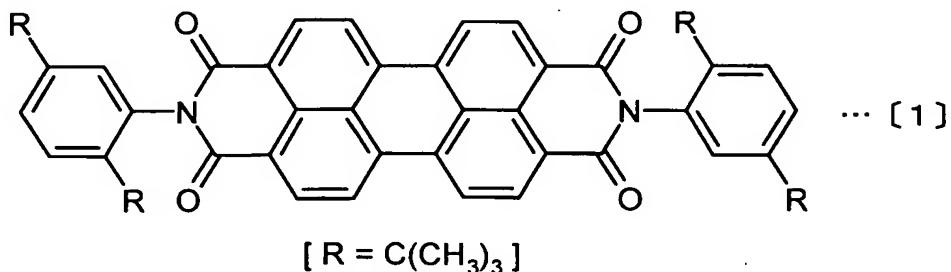
具体的な設定手順としては、例えば、まず、使用目的に応じて信号光の波長ないし波長帯域を決定し、これを制御するのに最適な光吸收層膜の材料と制御光の波長の組み合わせを選定すれば良い。または、使用目的に応じて信号光と制御光の波長の組み合わせを決定してから、この組み合わせに適した光吸收層膜の材料を選定すれば良い。

#### 【0084】

このような選定手順の具体例として、信号光としてギガヘルツオーダーで超高速変調可能な半導体レーザーから発振する波長850nm、1350nmあるいは1550nmなどの近赤外線を用い、これを、複数の可視光線波長帯域の制御光で光路切替するケースを以下に例示する。制御光の光源としてはサブミリ秒以下の応答速度で断続可能な連続(CW)発振方式のレーザーを好適に用いることができる。例えば、短波長側から、405ないし445nmの青紫ないし青色半導体レーザー、半導体励起Nd:YAGレーザーの波長1064nmを2次非線形光学素子で532nmの緑色に変換したもの、635ないし

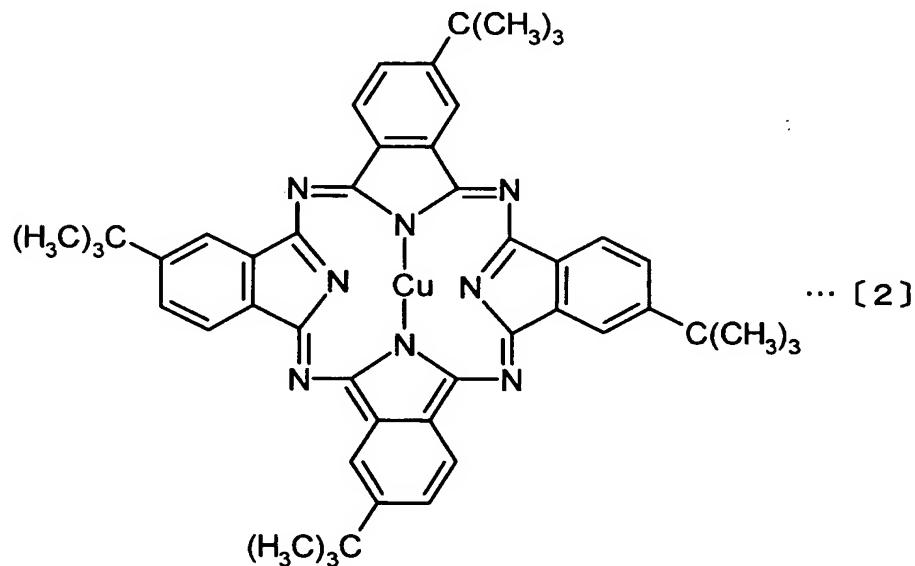
670 nmの赤色半導体レーザー、および、780ないし800 nmの近赤外線レーザーを選定し、好適に使用することができる。これらの制御光波長帯域に吸収を示し、850 nmないし1550 nmの近赤外線を吸収しない色素として、例えば、N, N' - ビス (2, 5 - ジ - tert - ブチルフェニル) - 3, 4, 9, 10 - ペリレンジカルボキシミド (N,N'-Bis(2,5-di-tert-butylphenyl)-3,4,9,10-perylenediacarboximide) [1] 、

【化1】



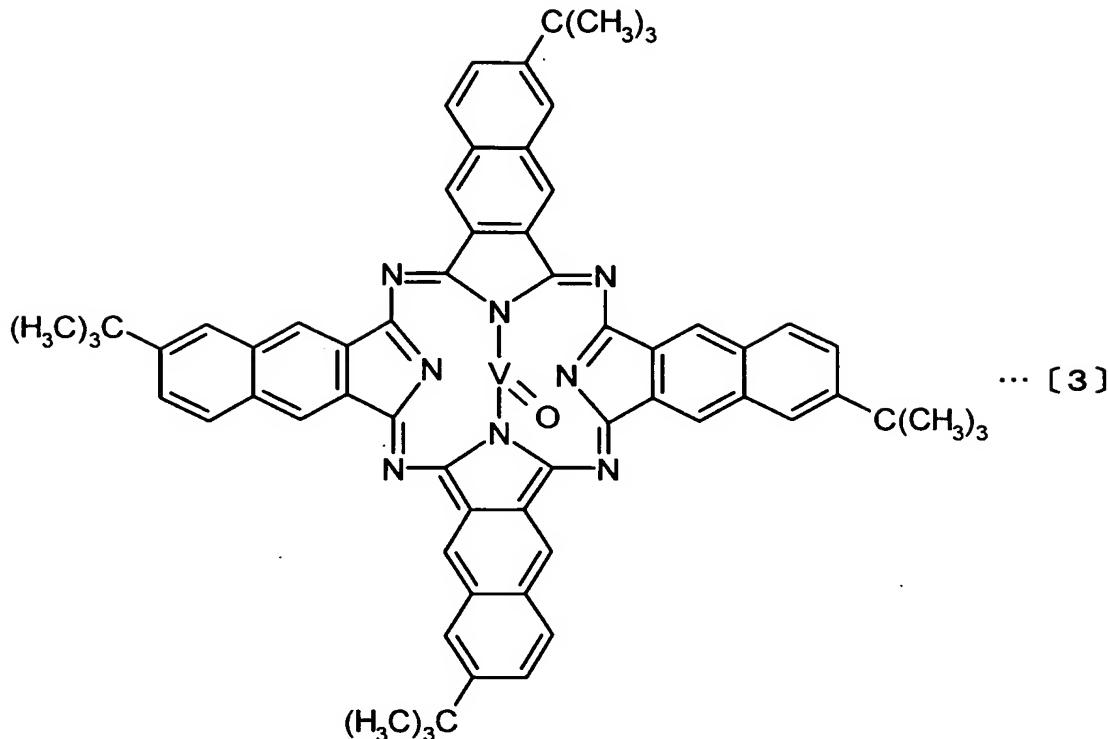
銅(II) 2, 9, 16, 23 - テトラ - tert - ブチル - 29H, 31H - フタロシアニン (Copper(II)2,9,16,23-tetra-tert-butyl-29H,31H-phthalocyanine) [2] 、

【化2】



バナジル 2, 11, 20, 29 - テトラ - tert - ブチル - 2, 3 - ナフタロシアニン (Vanadyl 2,11,20,29-tetra-tert-butyl-2,3-naphthalocyanine) [3] 、

## 【化3】



などを1つ以上選定して、各々好適に使用することができる。これらの色素はいずれも耐光性および耐熱性が高く、本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法において熱レンズ形成のための光吸収層膜用の色素として特に好適である。色素〔1〕、〔2〕および〔3〕のテトラヒドロフラン溶液の透過率スペクトルを図16に各々実線、鎖線および一点鎖線で示す。図16には示していないが、これらの色素溶液は900ないし1550nmの近赤外線領域においても98%以上の透過率を示す。

## 【0085】

前記制御光レーザーの発振波長と、これら色素の透過率スペクトルとの関係を表1に示す。

## 【0086】

【表1】

色素 番号	レーザー発振波長 [nm]							
	445	532	635	650	670	780	800	850
透過 率	〔1〕	3.59	0.10	97.08	97.36	97.33	97.67	97.15
	〔2〕	93.64	81.67	2.32	0.78	0.00	97.23	98.37
[%]	〔3〕	52.19	89.90	88.72	81.56	73.35	9.06	0.12
								89.00

## 【0087】

表1から判るように、色素〔1〕は波長445ないし532nmの制御光を吸収して熱レンズを形成するような熱レンズ形成素子の光吸収層膜の材料として好適である。同様に色素〔2〕は波長635ないし670nmに対応する光吸収層膜の材料として、また、色素〔3〕は波長780ないし800nmに対応する光吸収層膜の材料として好適である。これらの色素は前記溶剤に溶解させて光学セルへ充填し、または有機高分子材料中に溶解させて伝熱層膜に挟んで、あるいは、伝熱層膜上にスピンドルコート膜または蒸着膜として成膜して、使用することができる。

## 【0088】

これらの色素を2種類以上選択して使用する場合、各々の色素の吸収波長帯域に対応す

る熱レンズ形成素子を含む光路切替機構を、吸収波長帯域の短い方から順に連結して使用することが好ましい。すなわち、例えば、第1段目の光路切替機構に色素〔1〕、第2段目に色素〔2〕または〔3〕の2段構成、第1段目に色素〔1〕、第2段目に色素〔2〕、第3段目に色素〔3〕の3段構成として使用することで、各色素の吸収帯域と非吸収帯域を無駄なく重ねて利用することが可能である。

#### 【0089】

〔光吸收層膜の材料の組成、光吸收層膜中の光吸收層膜の膜厚、および熱レンズ形成層の膜厚〕

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で用いられる熱レンズ形成素子において、光吸收層膜は、「光吸收膜」単独の単層膜、あるいは、「光吸收膜／熱レンズ形成層」という2層構造、または、「光吸收膜／熱レンズ形成層／光吸收膜」という3層構造の積層型薄膜のいずれであっても良く、光吸收層膜全体の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を超えないことが好ましい。更に、一層高速な応答速度を目指す場合は、前記積層型薄膜からなる光吸收層膜の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の1倍を超えないことが好ましい。

#### 【0090】

このような条件の中で、本発明で用いられる光吸收層膜の材料の組成および光吸收層膜中の光吸收膜の膜厚については、これらの組み合わせとして、光吸收層膜を透過する制御光および信号光の透過率を基準にして設定することができる。例えば、まず、光吸收層膜の材料の組成の内、少なくとも制御光あるいは信号光を吸収する成分の濃度を決定し、次いで、熱レンズ形成素子を透過する制御光および信号光の透過率が特定の値になるよう光吸收層膜中の光吸收膜の膜厚を設定することができる。または、まず、例えば装置設計上の必要に応じて、光吸收層膜中の光吸收膜の膜厚を特定の値に設定した後、熱レンズ形成素子を透過する制御光および信号光の透過率が特定の値になるよう光吸收層膜の材料の組成を調整することができる。

#### 【0091】

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で用いられる熱レンズ形成素子から、できる限り低い光パワーで充分な大きさおよび高速度の熱レンズ効果を引き出すために最適な、光吸收層膜を透過する制御光および信号光の透過率の値は、それぞれ、次に示す通りである。

#### 【0092】

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法で用いられる熱レンズ形成素子においては、熱レンズ形成素子中の光吸收層膜を伝播する制御光の透過率が90%ないし0%になるよう光吸收層膜中の光吸收成分の濃度および存在状態の制御、光吸收層膜中の光吸收膜の膜厚設定を行うことが推奨される。

#### 【0093】

一方、制御光を照射しない状態において、熱レンズ形成素子中の光吸收層膜を伝播する信号光の透過率が下限として10%以上、また、上限としては100%に限りなく近づくよう光吸收層膜中の光吸收成分の濃度および存在状態の制御、光吸收層膜中の光吸收膜の膜厚設定を行うことが推奨される。

#### 【0094】

光吸收層膜中の熱レンズ形成層膜厚の下限は、以下に記載するように、熱レンズ形成層の材料に応じて選定される。

#### 【0095】

〔光吸收層膜中の熱レンズ形成層の材料および熱レンズ形成層の膜厚〕

単層の光吸收膜そのものを、熱レンズ形成層として作用させても良いが、光吸収と熱レンズ形成の機能を別々の材料に分担させて、各々選択された最適の材料を積層して使用することもできる。

#### 【0096】

光吸收層膜中の熱レンズ形成層の材料としては液体、液晶、および、固体の材料を用い

ることができる。特に、熱レンズ形成層が、非晶質の有機化合物、有機化合物液体、および液晶からなる群から選ばれる有機化合物からなると好適である。なお、熱レンズ形成層の材質が液晶および液体の場合、例えば、光吸収膜および/または伝熱層膜を自己形態保持性の材質で作成し、熱レンズ形成層の厚さに相当する空乏を設け、そこへ流動状態の熱レンズ形成層材料を注入することで、熱レンズ形成層を作成することができる。一方、熱レンズ形成層の材質が固体の場合は、熱レンズ形成層の片面または両面に光吸収膜を積層させて作成すれば良い。

#### 【0097】

熱レンズ形成層の材質は單一でなくとも良く、例えば、複数種類の固体の積層膜であっても良く、また、固体と液体を積層させたものであっても良い。

#### 【0098】

熱レンズ形成層の厚さは、用いる材料の種類にもよるが、数ナノメートルから1mmの範囲の厚さであれば良く、数十ナノメートルから数百 $\mu$ mの範囲であれば特に好適である。

#### 【0099】

前述のように、熱レンズ形成層と1または2枚の光吸収膜を積層してなる光吸収層膜の合計の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を超えないことが好ましい。

#### 【0100】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料としては液体、液晶、および、固体の材料を用いることができるが、いずれの場合も屈折率の温度依存性が大きい材料が好ましい。

#### 【0101】

代表的な有機化合物液体および水の屈折率温度依存性の物性値は文献 [D. Solimini: J. Appl. Phys., vol. 37, 3314(1966)] に記載されている。波長633nmの光に対する屈折率の温度変化 [単位: 1/K] は、水 ( $0.8 \times 10^{-4}$ ) よりもメタノール ( $3.9 \times 10^{-4}$ ) などのアルコールが大きく、更に、シクロヘキサン ( $5.7 \times 10^{-4}$ )、クロロホルム ( $5.8 \times 10^{-4}$ )、ベンゼン ( $6.4 \times 10^{-4}$ )、二硫化炭素 ( $7.7 \times 10^{-4}$ ) などの非水素結合性有機溶剤が大きい。

#### 【0102】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料として液晶を用いる場合、液晶としては、公知の任意のものを使用することができる。具体的には、種々のコレステロール誘導体、4'-n-ブトキシベンジリデン-4-シアノアニリン、4'-n-ヘキシルベンジリデン-4-シアノアニリンなどの4'-アルコキシベンジリデン-4-シアノアニリン類、4'-エトキシベンジリデン-4-n-ブチルアニリン、4'-メトキシベンジリデンアミノアゾベンゼン、4-(4'-メトキシベンジリデン)アミノビフェニル、4-(4'-メトキシベンジリデン)アミノスチルベンなどの4'-アルコキシベンジリデンアニリン類、4'-シアノベンジリデン-4-n-ブチトキシアニリン、4'-シアノベンジリデン-4-n-ヘキシルオキシアニリンなどの4'-シアノベンジリデン-4-アルコキシアニリン類、4'-n-ブトキシカルボニルオキシベンジリデン-4-メトキシアニリン、p-カルボキシフェニル-n-アミルカーボネイト、n-ヘプチル-4-(4'-エトキシフェノキシカルボニル)フェニルカーボネイトなどの炭酸エステル類、4-n-ブチル安息香酸・4'-エトキシフェニル、4-n-ブチル安息香酸・4'-オクチルオキシフェニル、4-n-ペンチル安息香酸・4'-ヘキシルオキシフェニルなどの4-アルキル安息香酸・4'-アルコキシフェニルエステル類、4,4'-ジ-n-アミルオキシアゾキシベンゼン、4,4'-ジ-n-ノニルオキシアゾキシベンゼンなどのアゾキシベンゼン誘導体、4-シアノ-4'-n-オクチルビフェニル、4-シアノ-4'-n-ドデシルビフェニルなどの4-シアノ-4'-アルキルビフェニル類などの液晶、および(2S, 3S)-3-メチル-2-クロロベンタノイック酸・4', 4"-オクチルオキシビフェニル、4'- (2-メチルブチル)ビフェニル-4-カルボン酸・4-ヘキシルオキシフェニル、4'-オクチルビフェニル-4-カルボン酸・4-(2-メチルブチル)フェニルなどの強誘電性液晶を使用することができる。

## 【0103】

光吸收層膜中の熱レンズ形成層の材料として固体の材料を用いる場合は、光散乱が小さく屈折率の温度依存性の大きな、非晶質の有機化合物が特に好適である。具体的には、前記マトリックス材料と同様に、種々の有機高分子材料の中から光学用樹脂として公知のものを選定して使用することができる。文献〔技術情報協会編、「最新光学用樹脂の開発、特性と高精度部品の設計、成形技術」、技術情報協会(1993)、P.35〕に記載されている光学用樹脂の屈折率の温度変化〔単位：1／K〕は、例えば、ポリ(メタクリル酸メチル)が $1.2 \times 10^{-4}$ 、ポリカーボネートが $1.4 \times 10^{-4}$ 、ポリスチレンが $1.5 \times 10^{-4}$ である。これらの樹脂を光吸收層膜中の熱レンズ形成層の材料として好適に使用することができる。

## 【0104】

前記有機溶剤の屈折率温度依存性は前記光学用樹脂の場合よりも大きいというメリットがある反面、制御光照射による温度上昇が有機溶剤の沸点に到達すると沸騰してしまうという問題がある(高沸点の溶剤を用いる場合は問題ない)。これに対して、揮発性不純物を徹底的に除去した光学用樹脂は、例えばポリカーボネートの場合、制御光照射による温度上昇が250℃を超えるような過酷な条件においても使用可能である。

## 【0105】

## [保温層膜]

保温層膜として気体を用いる場合は、空気の他、窒素、ヘリウム、ネオン、アルゴンなどの不活性ガスを好適に用いることができる。

## 【0106】

保温層膜として液体を用いる場合は、熱伝導率が光吸收層膜と同等か光吸收層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸收層膜の材質を溶解または腐食しないものであれば、任意の液体を用いることができる。例えば、光吸收層膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、流動性パラフィンを用いることができる。

## 【0107】

保温層膜として固体を用いる場合は、熱伝導率が光吸收層膜(光吸收膜および熱レンズ形成層)と同等か光吸收層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸收層膜や伝熱層膜の材質と反応しないものであれば、任意の固体を用いることができる。例えば、光吸收膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、色素を含まないポリメタクリル酸メチル[300Kにおける熱伝導率 $0.15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]を保温層膜として用いることができる。

## 【0108】

## [伝熱層膜の材料]

伝熱層膜としては、熱伝導率が光吸收層膜よりも大きい材質が好ましく、制御光および信号光を透過し、光吸收層膜や保温層膜の材質と反応しないものであれば、任意のものを用いることができる。熱伝導率が高く、かつ、可視光線の波長帯域における光吸收が小さい材質として、例えば、ダイアモンド[300Kにおける熱伝導率 $900 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、サファイア[同 $46 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、石英単結晶[c軸に平行方向で同 $10.4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、石英ガラス[同 $1.38 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、硬質ガラス[同 $1.10 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]などを伝熱層膜として好適に用いることができる。

## 【0109】

## [光透過層の材料]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子は、前記制御光の収束手段としての屈折率分布型レンズが、光透過層を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていても良いが、光透過層の材質としては、固体の保温層膜および/または伝熱層膜の材質と同様のものを使用することができる。光透過層は、文字通り、前記制御光および信号光を効率良く透過させるだけでなく、屈折率分布型レンズを熱レンズ形成素子構成要素として接着するためのものである。いわゆる紫外線硬化型樹脂や電子線硬化型樹脂の内、前記制御光および信

号光の波長帯域の光透過率の高いものを特に好適に用いることができる。

【0110】

【熱レンズ形成素子の作成方法】

本発明で用いられる熱レンズ形成素子の作成方法は、熱レンズ形成素子の構成および使用する材料の種類に応じて任意に選定され、公知の方法を用いることができる。

【0111】

例えば、熱レンズ形成素子中の光吸収膜に用いられる光吸収性の材料が、前述のような単結晶の場合、単結晶の切削・研磨加工によって、光吸収膜を作成することができる。

【0112】

例えば、色素を含有したマトリックス材料からなる光吸収膜、光学用樹脂からなる熱レンズ形成層、および光学ガラスを伝熱層膜として組み合わせて用いた「伝熱層膜／光吸収膜／熱レンズ形成層／光吸収膜／伝熱層膜」という構成の熱レンズ形成素子を作成する場合、以下に列挙するような方法によって、まず、伝熱層膜上に光吸収膜を作成することができる。

【0113】

色素およびマトリックス材料を溶解した溶液を、伝熱層膜として用いられるガラス板上に塗布法、ブレードコート法、ロールコート法、スピンドルコート法、ディッピング法、スプレー法などの塗工法で塗工するか、あるいは、平版、凸版、凹版、孔版、スクリーン、転写などの印刷法で印刷して光吸収膜を形成する方法を用いても良い。この場合、光吸収膜の形成にゾルゲル法による無機系マトリックス材料作成方法を利用することもできる。

【0114】

電着法、電解重合法、ミセル電解法（特開昭63-243298号公報）などの電気化学的成膜手法を用いることができる。

【0115】

更に、水の上に形成させた単分子膜を移し取るラングミア・プロジェット法を用いることができる。

【0116】

原料モノマーの重合ないし重縮合反応を利用する方法として、例えば、モノマーが液体の場合、キャスティング法、リアクション・インジェクション・モールド法、プラズマ重合法、および、光重合法などが挙げられる。

【0117】

昇華転写法、蒸着法、真空蒸着法、イオンビーム法、スパッタリング法、プラズマ重合法、CVD法、有機分子線蒸着法、などの方法を用いることもできる。

【0118】

2成分以上の有機系光学材料を溶液または分散液状態で各成分毎に設けた噴霧ノズルから高真空容器内に噴霧して基板上に堆積させ、加熱処理することを特徴とする複合型光学薄膜の製造方法（特許公報第2599569号）を利用することもできる。

【0119】

以上のような固体の光吸収膜の作成方法は、例えば、固体の有機高分子材料からなる保温層膜を作成する場合にも、好適に使用することができる。

【0120】

次いで、熱可塑性の光学用樹脂を用いて熱レンズ形成層を作成する場合、真空ホットプレス法（特開平4-99609号公報）を用いて「伝熱層膜／光吸収膜／熱レンズ形成層／光吸収膜／伝熱層膜」という構成の熱レンズ形成素子を作成することができる。すなわち、熱可塑性光学用樹脂の粉末またはシートを、上記の方法で表面に光吸収膜を形成した2枚の伝熱層膜（ガラス板）で挟み、高真空下、加熱・プレスすることによって、上記構成の積層型薄膜素子を作成することができる。

【0121】

【光学セル】

色素溶液充填式熱レンズ形成素子で用いられる光学セルは、色素溶液を保持する機能、

および色素溶液に実効的に形態を付与し、光吸收層膜兼熱レンズ形成層として作用させる機能を有し、更に、収束されて照射される信号光および制御光を受光して前記光応答性組成物へ前記信号光および前記制御光を伝搬させる機能、および前記光応答性組成物を透過した後、発散していく前記信号光を伝搬させて出射する機能を有するものである。

【0122】

色素溶液充填式熱レンズ形成素子で用いられる光学セルの形態は外部形態と内部形態に大別される。

【0123】

光学セルの外部形態は、本発明の光制御式光路切替型データ配信装置の構成に応じて、板状、直方体状、円柱状、半円柱状、四角柱状、三角柱状、などの形状のものが用いられる。

【0124】

光学セルの内部形態とは、すなわち、色素溶液充填部の形態であり、色素溶液に、実効的に形態を付与するものである。本発明の光制御式光路切替型データ配信装置の構成に応じて、光学セルの内部形態は、具体的には、例えば、薄膜、厚膜、板状、直方体状、円柱状、半円柱状、四角柱状、三角柱状、凸レンズ状、凹レンズ状、などの中から適宜選択することができる。

【0125】

光学セルの構成および材質は、下記の要件を満たすものであれば任意のものを使用することができる。

【0126】

(1) 上記のような外部形態および内部形態を、使用条件において精密に維持できること。

【0127】

(2) 色素溶液に対して不活性であること。

【0128】

(3) 色素溶液を構成する諸成分の放散・透過・浸透による組成変化を防止できること。

【0129】

(4) 色素溶液が、酸素や水など使用環境に存在する気体あるいは液体と接触することによって劣化することを妨げることができること。

【0130】

光学セルの材質としては、具体的には、色素溶液の種類によらずソーダガラス、ホウケイ酸ガラスなどの種々の光学ガラス、石英ガラス、サファイアなどを好適に使用することができる。また、色素溶液の溶剤が水やアルコール系である場合、ポリ(メタクリル酸メチル)、ポリスチレン、ポリカーボネートなどのプラスチックを用いることもできる。

【0131】

なお、上記要件の内、色素溶液の組成変化や劣化を防止する機能は、熱レンズ形成素子としての設計寿命の範囲内に限り発揮されれば良い。

【0132】

本発明で用いられる他の光学要素、すなわち、集光レンズ、受光レンズ、波長選択透過フィルターなどを前記光学セルに組み込んだ一体構造の光学セルを用いることができる。

【0133】

[ビームウエスト直径の計算]

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法において熱レンズ効果を有効に利用するためには、焦点(集光点)近傍の光子密度が最も高い領域、すなわち「ビームウエスト」における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないように前記信号光および前記制御光のビーム断面の形状および大きさをそれぞれ設定することが好ましい。

【0134】

以下、進行方向ビーム断面の電場の振幅分布、すなわち光束のエネルギー分布がガウス分布となっているガウスビームの場合について述べる。なお、以下の説明では、ビーム収束手段として集光レンズ（屈折率分布型レンズ）を用いる場合について説明するが、収束手段が凹面鏡や屈折率分散型レンズであっても同様である。

【0135】

ガウスビームを、図4などの集光レンズ31などで、開き角 $2\theta$ で収束させたときの焦点301近傍における光線束および波面300の様子を図17に示す。ここで、波長 $\lambda$ のガウスビームの直径 $2\omega$ が最小になる位置301を「ビームウエスト」という。以下、ビームウエスト直径を $2\omega_0$ で表すものとする。光の回折作用のため、 $2\omega_0$ はゼロにはならず、有限の値を持つ。なお、ビーム半径 $\omega$ や $\omega_0$ の定義は、ガウスビームのビーム中心部分のエネルギーを基準として、エネルギーが $1/e^2$ （eは自然対数の底）になる位置をビーム中心から測ったときの距離であり、ビーム直径は $2\omega$ または $2\omega_0$ で表される。いまでもなく、ビームウエストの中心において、光子密度は最も高い。

【0136】

ガウスビームの場合、ビームウエストから充分に遠方でのビーム拡がり角 $\theta$ は波長 $\lambda$ およびビームウエスト径 $\omega_0$ と、次の式〔4〕で関係付けられる。

【0137】

(数1)

$$\pi \cdot \theta \cdot \omega_0 \doteq \lambda \quad \cdots [4]$$

ここで、 $\pi$ は円周率である。

【0138】

「ビームウエストから充分に遠方」という条件を満たす場合に限りこの式を用いて、集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ 、集光レンズの開口数および焦点距離から、集光レンズで集光されたビームウエスト径 $\omega_0$ を計算することができる。

【0139】

更に一般的に、有効開口半径 $a$ および開口数NAの集光レンズで、ビーム半径 $\omega$ の平行ガウスビーム（波長 $\lambda$ ）を収束させた場合のビームウエスト直径 $2\omega_0$ は、次の式〔5〕で表すことができる。

【0140】

(数2)

$$2\omega_0 \doteq k \cdot \lambda / NA \quad \cdots [5]$$

【0141】

ここで、係数 $k$ は代数的に解くことができないため、レンズ結像面での光強度分布についての数値解析計算を行うことによって決定することができる。

【0142】

集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ と集光レンズの有効開口半径 $a$ の比率を変えて、数値解析計算を行うと、式〔5〕の係数 $k$ の値は以下のように求まる。

【0143】

(数3)

$$\begin{array}{lll} a/\omega = 1 \text{ のとき} & k \doteq 0.92 \\ a/\omega = 2 \text{ のとき} & k \doteq 1.3 \\ a/\omega = 3 \text{ のとき} & k \doteq 1.9 \\ a/\omega = 4 \text{ のとき} & k \doteq 3 \end{array}$$

【0144】

すなわち、集光レンズの有効開口半径 $a$ よりもビーム半径 $\omega$ が小さければ小さい程、ビームウエスト径 $\omega_0$ は大きくなる。

【0145】

例えば、集光レンズとして開口数0.25、有効開口半径約5mmのレンズを用い、波長780nmの信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ が5mmであれば $a/\omega$ は約1で、ビームウエストの半径 $\omega_0$ は $1.4\mu\text{m}$ 、 $\omega$ が $1.25\text{mm}$ であれ

ば  $a/\omega$  は約 4 で  $\omega_0$  は  $4.7 \mu\text{m}$  と計算される。同様にして波長  $633 \text{ nm}$  の制御光を収束したとき、ビーム半径  $\omega$  が  $5 \text{ mm}$  であれば  $a/\omega$  は約 1 で、ビームウエストの半径  $\omega_0$  は  $1.2 \mu\text{m}$ 、 $\omega$  が  $1.25 \text{ mm}$  であれば  $a/\omega$  は約 4 で  $\omega_0$  は  $3.8 \mu\text{m}$  と計算される。

#### 【0146】

この計算例から明らかなように、集光レンズの焦点近傍の光子密度が最も高い領域、すなわちビームウエストにおける光ビームの断面積を最小にするには、集光レンズに入射する光ビームの強度分布が平面波に近くなるまで、ビーム直径を拡大（ビームエキスパンド）すれば良い。また、集光レンズへ入射するビーム直径が同一の場合、光の波長が短い程、ビームウエスト径は小さくなることも判る。

#### 【0147】

前述のように、本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法において熱レンズ効果を有効に利用するためには、ビームウエスト近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないように前記信号光および前記制御光のビーム断面の形状および大きさをそれぞれ設定することが好ましい。信号光および制御光ともにガウスビームを用いる場合であれば、以上の説明および計算式にしたがって、集光レンズなどの収束手段で収束する前の平行ビームの状態で、波長に応じて、信号光および制御光のビーム直径を、必要に応じてビームエキスパンドするなどして、調節することによって、ビームウエスト近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないようになることができる。前述のようにビームエキスパンドの手段としては、公知のもの、例えば 2 枚の凸レンズからなるケプラー型の光学系を用いることができる。

#### 【0148】

##### [共焦点距離 $Z_c$ の計算]

一般に、ガウスビームの場合、凸レンズなどの収束手段で収束された光束のビームウエスト近傍、すなわち、焦点を挟んで共焦点距離  $Z_c$  の区間においては、収束ビームはほぼ平行光と見なすことができ、共焦点距離  $Z_c$  は、円周率  $\pi$ 、ビームウエスト半径  $\omega_0$  および波長  $\lambda$  を用いた式 [6] で表すことができる。

#### 【0149】

(数 4)

$$Z_c = \pi \omega_0^2 / \lambda \quad \cdots [6]$$

#### 【0150】

式 [6] の  $\omega_0$  に式 [5] を代入すると、式 [7] が得られる。

#### 【0151】

(数 5)

$$Z_c = \pi (k/NA)^2 \lambda / 4 \quad \cdots [7]$$

#### 【0152】

例えば、集光レンズとして開口数 0.25、有効開口半径約  $5 \text{ mm}$  のレンズを用い、波長  $780 \text{ nm}$  の信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径  $\omega$  が  $5 \text{ mm}$  であれば  $a/\omega$  は約 1 で、ビームウエストの半径  $\omega_0$  は  $1.4 \mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は  $8.3 \mu\text{m}$ 、 $\omega$  が  $1.25 \text{ mm}$  であれば  $a/\omega$  は約 4 で  $\omega_0$  は  $4.7 \mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は  $8.8 \mu\text{m}$  と計算される。同様にして波長  $633 \text{ nm}$  の制御光を収束したとき、ビーム半径  $\omega$  が  $5 \text{ mm}$  であれば  $a/\omega$  は約 1 で、ビームウエストの半径  $\omega_0$  は  $1.2 \mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は  $6.7 \mu\text{m}$ 、 $\omega$  が  $1.25 \text{ mm}$  であれば  $a/\omega$  は約 4 で  $\omega_0$  は  $3.8 \mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は  $7.1 \mu\text{m}$  と計算される。

#### 【0153】

##### [光吸収層膜の最適膜厚]

光吸収層膜を構成する 1 または 2 枚の光吸収膜の厚さを変えず、熱レンズ形成層の厚さを変えて試料を作製し、光学濃度一定で膜厚の異なる複数の熱レンズ形成素子について実

験した結果、上記のようにして計算される共焦点距離  $Z_c$  の 2 倍を光吸収層膜の膜厚の上限としたとき、熱レンズ効果の光応答速度が充分高速になることが判った。

#### 【0154】

光吸収層膜の膜厚の下限については、熱レンズ効果が発揮できる限りにおいて、薄ければ薄いほど好ましい。

#### 【0155】

##### [保温層膜の膜厚]

保温層膜の膜厚には、光応答の大きさおよび／または速度を最大にするような最適値（下限値および上限値）が存在する。その値は熱レンズ形成素子の構成、光吸収層膜の材質および厚さ、保温層膜の材質、伝熱層膜の材質および厚さなどに応じて、実験的に決定することができる。例えば、伝熱層膜として通常のホウケイ酸ガラス、保温層膜および熱レンズ形成層の材質としてポリカーボネート、光吸収膜としてプラチナフタロシアニンの蒸着膜を用い、ガラス（伝熱層膜、膜厚  $150\ \mu\text{m}$ ）／ポリカーボネート樹脂層（保温層）／プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚  $0.2\ \mu\text{m}$ ）／ポリカーボネート樹脂層（熱レンズ形成層、膜厚  $20\ \mu\text{m}$ ）／プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚  $0.2\ \mu\text{m}$ ）／ポリカーボネート樹脂層（保温層）／ガラス（伝熱層膜、膜厚  $150\ \mu\text{m}$ ）という構成の熱レンズ形成素子を作成した場合、保温層膜の膜厚は好ましくは  $5\ \text{nm}$  から  $5\ \mu\text{m}$  であり、更に好ましくは  $50\ \text{nm}$  から  $500\ \text{nm}$  である。

#### 【0156】

##### [伝熱層膜の膜厚]

伝熱層膜の膜厚にも、光応答の大きさおよび／または速度を最大にするような最適値（この場合は下限値）が存在する。その値は熱レンズ形成素子の構成、光吸収層膜の材質および厚さ、保温層の材質および厚さ、伝熱層膜の材質などに応じて、実験的に決定することができる。例えば、伝熱層膜として通常のホウケイ酸ガラス、保温層膜および熱レンズ形成層の材質としてポリカーボネート、光吸収膜としてプラチナフタロシアニンの蒸着膜を用い、ガラス（伝熱層膜、膜厚  $150\ \mu\text{m}$ ）／ポリカーボネート樹脂層（保温層）／プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚  $0.2\ \mu\text{m}$ ）／ポリカーボネート樹脂層（熱レンズ形成層、膜厚  $20\ \mu\text{m}$ ）／プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚  $0.2\ \mu\text{m}$ ）／ポリカーボネート樹脂層（保温層）／ガラス（伝熱層膜、膜厚  $150\ \mu\text{m}$ ）という構成の熱レンズ形成素子を作成した場合、伝熱層膜の厚さの下限は、好ましくは  $10\ \mu\text{m}$ 、更に好ましくは  $100\ \mu\text{m}$  である。なお、伝熱層膜の膜厚の上限については光応答の大きさおよび／または速度からの制約はないが、用いられる集光レンズおよび受光レンズの方式、焦点距離および作動距離（ワーキングディスタンス）と整合させて設計する必要がある。

#### 【0157】

##### [熱レンズ効果による光路切替機構の動作原理と態様]

本発明で用いられる光スイッチを構成する最小単位としての光路切替機構 91 の動作原理を説明するための原理図を図 11、図 12、図 13、および、図 14 に示す。これらの図において、熱レンズ形成素子 1 は「伝熱層膜 501／光吸収層膜兼熱レンズ形成層 502／伝熱層膜 503」という積層構造であるとする。また、制御光として用いられるレーザー光のビーム断面の光強度分布がガウス分布である「ガウスピーム」を用いるものとする。ガウスピームを凸レンズなどの集光レンズで収束させると、ビームウエスト（集光点；焦点）での光強度分布も、ガウス分布となる。

#### 【0158】

図 11 に示すように、コリメートされた平行光ビーム 110（信号光または制御光）が集光レンズ 31 によって収束されて熱レンズ形成素子 1 の光吸収層膜兼熱レンズ形成層 502 に照射された場合、平行光ビーム 110 として収束・照射された制御光は光吸収層膜に吸収されて光エネルギーが熱エネルギーに変換され、光吸収の起きた光吸収層膜の近傍および隣接する熱レンズ形成層の温度が上昇、熱膨張し、屈折率は低下する。上記のようにビーム断面の光強度分布がガウス分布となった光を照射すると、光強度の強いガウス分

布の中心部分が収束されて照射されたところが「光吸収の中心」となり、その部分の温度が最も高く、かつ、屈折率が一番小さくなる。光吸収の中心部分から外周へ向けての光吸収も熱に変わり、更に周囲に伝搬される熱により熱レンズ形成層を含む光吸収層膜の屈折率が光吸収中心から外部へ向けて球状に変化して、光吸収中心の屈折率が最も低く外部へ向けて屈折率が高くなる分布を生じ、局部的には凹レンズのように機能する。実際には、制御光は集光レンズ31などによって集光されて熱レンズ形成層を含む光吸収層膜中に照射され、光吸収が収束光の進行方向に多重に起こり、多重に形成された熱レンズによって、進行する制御光自身の光束も変形されるため、観測される熱レンズ効果は、以下に述べるように単一の凹レンズによるものとは異なる。

#### 【0159】

光吸収層膜の吸収帯域にある波長の制御光と透過帯域の波長である信号光とを、図11(a)に示すように熱レンズ形成素子1の光吸収層膜の入射面に近い位置5にビームウェスト(焦点)が位置するように同時に照射すると、図12(a)に示すように制御光により入射面に近い位置に形成された熱レンズ50により、信号光は断面がリング状に拡がるように拡散された出射信号光201として通常の出射信号光200よりも大きい開き角度で出射する。熱レンズ形成素子1を出射した出射信号光201または200を約50cm遠方に設置した半透明スクリーンに投射し、背面から撮影した信号光ビーム断面の写真をそれぞれ図18(a)および図18(b)に示す。図18(b)に示すように熱レンズ形成素子1から通常の開き角で出射した信号光200の断面は、前記スクリーン上で直径d<sub>2</sub>の円形である。これに対して、信号光と制御光を熱レンズ形成素子1の光吸収層膜の入射面に近い位置5において焦点を結ぶように同時に照射したとき制御光により入射面に近い位置に形成された熱レンズ50により断面がリング状に拡がるように拡散された出射信号光201の断面は、図18(a)に示すように、外径d<sub>3</sub>かつ内径d<sub>4</sub>のリングとして前記スクリーンに投射される。図18において明らかなように、外径d<sub>3</sub>かつ内径d<sub>4</sub>は、ともに制御光が照射されない場合の信号光・円形ビーム直径d<sub>2</sub>よりも大きい。

#### 【0160】

一方、図11(b)に示すように熱レンズ形成素子の光吸収層膜の出射面に近い位置6において焦点を結ぶように同時に照射すると、図12(b)に示すように制御光により出射面に近い位置に形成された熱レンズ60により、信号光は収束されたまま出射する信号光119として出射する。熱レンズ形成素子1を出射した出射信号光119を前記半透明スクリーンに投射し、背面から撮影した信号光ビーム断面の写真を図18(c)に示す。信号光と制御光を熱レンズ形成素子1の光吸収層膜の出射面に近い位置6において焦点を結ぶように同時に照射したとき制御光により出射面に近い位置に形成された熱レンズ60により収束されたまま出射する信号光119の断面は、図18(c)に示すように、外径d<sub>0</sub>の円形として前記スクリーンに投射される。図18において明らかなように、外径d<sub>0</sub>は、制御光が照射されない場合の信号光・円形ビーム直径d<sub>2</sub>よりも小さい。なお、収束出射信号光119の輝度は非常に高いため、前記スクリーンへ投射して写真撮影する際、前記スクリーンの手前に減光フィルターを設置してハレーションが起こることを防いだ。

#### 【0161】

図11(a)および図11(b)のいずれの場合も、制御光を照射しないと、図12(a)および図12(b)に点線で示すように信号光は熱レンズ50または60の影響を受けることなく、信号光のみが通常の開き角度の出射光200として出射する。

#### 【0162】

また、熱レンズ効果の有無と熱レンズ形成素子の光吸収層膜におけるビームウェスト(集光点；焦点)位置の相違(入射側か出射側か)に対応した信号光ビーム断面における光強度分布の相違の測定を以下のように行うことができる。すなわち、図4、図13または図14に概要を示す装置において、受光レンズ41の開口数0.55、集光レンズ31の開口数0.25とし、穴付ミラー61の代わりに図19に概要を示すような光強度分布測定器700を設置し、熱レンズ形成素子1を透過した信号光ビームの全てを受光レンズ41で受光し、平行光線として前記光強度分布測定器の受光部701(有効直径20mm)

へ入射させ、信号光ビーム断面の光強度分布を測定した。測定結果を図20、図21、および、図22に示す。ここで、光強度分布測定器は、図19に示すように、受光部701（有効直径20mm）に対して幅1mmの第一のスリット702を設け、第一のスリットの長さ方向、すなわち図19において点710から点720の向きに、幅25μmの第二のスリット703を一定速度で移動させて、2枚のスリットが作る1mm×25μmの長方形の窓を通過した光の強度を、前記窓の移動位置に対応させて測定する装置である。前記窓の移動位置に対応させて光強度を測定するには、例えば、第二のスリット703の移動速度に同期させたストレージオシロスコープ上に、前記窓を通過した光を受光した検出器の出力を記録すれば良い。図20～図22は、以上のようにして、ストレージオシロスコープ上に記録された信号光の光ビーム断面についての光強度分布を示すものであり、横軸（光ビーム断面内の位置）は受光部701の中心を0として、図19の点710を負方向、点720を正方向と座標を定めて表した位置に対応し、縦軸は光強度を表す。

## 【0163】

図20は、図11(a)および図13(a)の場合に対応し、熱レンズ形成素子1に制御光が入射せず、信号光のみが入射した場合の前記信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の強度が強く、周辺にいくにしたがって強度が弱まる分布（おおむね「ガウス分布」）である。したがって、この場合に充分な大きさの穴161を有する穴付ミラー61が図13(a)のように設置されると、信号光ビーム111の全てが穴付ミラーの穴161を通過することができる。ここで、平行光として集光レンズ31（焦点距離 $f_1$ ）へ入射する信号光のビーム直径を $d_1$ 、受光レンズ41（焦点距離 $f_2$ ）によって平行光とされた信号光ビーム111のビーム直径を $d_2$ とすると、

(数6)

$$f_1 : f_2 = d_1 : d_2 \quad \cdots [8]$$

であるから、 $d_2$ は次の式によって求めることができる。

## 【0164】

(数7)

$$d_2 = (f_2 / f_1) \times d_1 \quad \cdots [9]$$

## 【0165】

穴付ミラー61は、例えば、信号光の光軸と45度の角度を持って設置されているものとする。また、穴161を通過する信号光の断面は円形である。したがって、穴161の形状は短径 $D_1$ 、長径 $D_2$ の楕円である必要があり、 $D_1$ と $D_2$ は次の式〔10〕の関係にある。

## 【0166】

(数8)

$$D_2 = D_1 \times \sqrt{2} \quad \cdots [10]$$

## 【0167】

ここで、穴付ミラー61の楕円形穴161の短径 $D_1$ は、式〔9〕から求められる信号光ビーム111のビーム直径 $d_2$ よりも大きければ良い。ただし、 $D_1$ が大きすぎると制御光の照射によってリング状に拡大された信号光の一部も通過してしまう。すなわち、 $D_1$ の最適値は $d_2$ の1.01倍ないし1.2倍であり、より好ましくは1.02倍ないし1.1倍である。

## 【0168】

図21は、図11(a)、図12(a)および図13に示すような光学配置の場合に対応し、ビームウエスト（集光点；焦点）を熱レンズ形成素子1の集光レンズ31に近い位置5（光の入射側）に設定し、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の光強度が弱く、周辺でリング状に光強度が増大する分布になっている。信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および熱レンズ形成素子1と焦点の位置関係に依存して減少し、制御光強度が増すにしたがって、ゼロに近づいていく。また、信号光強度の極大位置は、元のビーム直径よりも大きな値（直径約15mm）であった。

## 【0169】

図22は、図11（b）、図12（b）および図14に示すような光学配置の場合に対応し、ビームウェスト（集光点；焦点）を熱レンズ形成素子1の受光レンズ41に近い位置6（光の出射側）に設定し、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合は、中心部分の光強度が、制御光を照射しない場合の中心部分の光強度（図21）より強くなっている。この場合、信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および熱レンズ形成素子1と焦点6との位置関係に依存するが、制御光非照射時の数倍にも達する。

## 【0170】

したがって、この場合に穴付ミラー61が設置されていると、信号光ビームの大部分が穴付ミラーの穴161を通過する。ここで、穴付ミラー61（および62, 63）の穴161の大きさが最適化されていると、穴付ミラー61によって反射される信号光を事实上ゼロにすることができる。しかしながら、穴付ミラー61の穴161の大きさを最適化しても、制御光を照射しない場合、図14（a）に示す信号光111の中心部分が穴161を漏れ信号光118として通過してしまい、クロストークが発生することは防げない。

## 【0171】

しかるに、熱レンズ形成素子へ入射する信号光ビーム断面の光強度分布を変更することによって、このような漏れ信号光を事实上ゼロにすることができる。すなわち、図6に示すように、光信号路1110から出射した信号光110をコリメートレンズ30を用いて整形した後、円錐プリズム型レンズなどからなるビーム断面リング化レンズ群321によって、信号光ビーム断面の光強度分布を図18（a）および図21に相当するようなリング状の分布にすることが容易にできる。このような断面光強度分布の信号光110を集光レンズ31にて焦点位置6（図14（a））を通過するように収束して熱レンズ形成素子1を透過させた後、受光レンズ41で平行光線に戻すと、その光ビーム断面の光強度分布は図21に相当するように周辺部分で強く、中心部分が事实上ゼロの「リング状」となるため、穴付ミラー61を設置した場合、その穴161を通過する信号光のモレを事实上、なくすことができる。信号光ビーム断面の光強度分布がこのように「リング状」であっても、図14（b）のように制御光を照射して熱レンズ60を過渡的に形成させた場合には、信号光ビーム断面の光強度分布は鋭いビーム状の収束直進信号光119として穴付ミラー61の穴161を通過していく。

## 【0172】

以上、まとめると、図13の光学配置において、制御光照射の有無に対応して、熱レンズ形成素子を通過した信号光のビーム断面の光強度分布が図21のリング状分布（制御光照射の場合）と図20のガウス分布（制御光非照射の場合）の間で切り替えられ、これを、信号光ビーム断面の光強度分布の形状に適合した穴付ミラーによって、それぞれ別個に取り出すことによって、信号光の光路の切替が可能となる。

## 【0173】

一方、図14に例示するような光学配置において、制御光および信号光の焦点が熱レンズ形成素子の出射側に近い位置6になるよう調整し、更に信号光ビーム断面の光強度分布をリング状にすることによって、制御光非照射のとき、信号光本来の進行方向から90度、光路を切り替えて信号光を出射させること、また、制御光照射時に信号光を直進させることができる。

## 【0174】

## [複数の光路切替機構の組み合わせ方法]

熱レンズ入射光の集光レンズ（31など）、熱レンズ形成素子（1など）、熱レンズ出射光の受光レンズ（41など）、波長選択透過フィルター（81など）および穴付ミラー（61など）からなる光路切替機構（91など）を2つ以上、空間結合方式で連結させて使用する場合、出射信号光が通常の開き角度よりも拡大されて出射する動作態様と、収束されたまま出射する動作態様の組み合わせとして、以下の3通りを用いることができる。

## 【0175】

(1) 出射信号光が通常の開き角度よりも拡大されて出射する動作態様だけの組み合わせ。

【0176】

(2) 出射信号光が収束されたまま出射する動作態様だけの組み合わせ。

【0177】

(3) 出射信号光が通常の開き角度よりも拡大されて出射する動作態様の後段に出射信号光が収束されたまま出射する動作態様を用いる組み合わせ。

【0178】

3番目の組み合わせとして、1段目の光路切替機構が制御光と信号光とを、図11(a)に示すように熱レンズ形成素子1の光吸收層膜の入射面に近い位置5にビームウエスト(焦点)が位置するように同時に照射して、出射する信号光が熱レンズ効果によって、通常の開き角よりも拡大されてリング状断面で出射する動作態様の場合、リング状断面の信号光を穴付ミラー61で反射させて光路切替した後に、2段目の光路切替機構として、制御光と信号光とを、図11(b)に示すように熱レンズ形成素子1の光吸收層膜からの出射面に近い位置6にビームウエスト(焦点)が位置するように同時に照射して、出射する信号光が熱レンズ効果によって、収束されたままの小さい断面で出射する動作態様を採用することで、前記ビーム断面リング化レンズ群321を用いることなく、効率良く、2つの光路切替機構を組み合わせることが可能となる。この組み合わせの詳細については実施例4に記載する。

【0179】

【穴付ミラー】

穴付ミラー61は、例えば、信号光の光軸と45度の角度を持って設置されている。穴付ミラー61のミラー面は、ガラス面上に誘電体多層膜をスパッタリング法で作成し、信号光の波長で反射率が極大になるよう調整したものを用いた。穴付ミラー61の穴161の部分は、ガラスに楕円状の穴を、45度傾けて開けて作成した。穴を開ける替わりに、楕円状に反射膜を付けなくても良いが、ガラス面には反射が数%あって信号光の減衰かつクロストークが起こるので、穴を開ける方が好ましい。穴の内面は光散乱などによる迷光を防ぐため、平滑で、無反射処理されていることが好ましい。また、反射膜は、誘電体多層膜に限らず、用いる制御光および信号光を反射する材料であれば良く、金、銀等でも良い。

【0180】

【時間分割型「多：1」双方向光通信】

本発明の光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法は、使用している光スイッチの動作原理から、当該光スイッチの作動期間のみ、データサーバー装置側と特定のクライアント装置側の光通信経路が双方に「開」となるものである。したがって、特定のクライアント装置側から隨時、サーバー側へデータ送信依頼を当該光通信経路を通じて送信できるようにするために、データサーバー装置側から一定時間毎に繰り返し、個々のクライアント装置へ向けて順番に、少なくとも制御光・光宛先タグを一定時間、送信し続ける必要がある。さもなければ、クライアント装置からデータサーバー装置へ、例えば、別の光通信路を用いての光通信または従来型ローカルエリアネットワークを用いての電気通信を行わなければならない。

【0181】

複数のクライアント装置とデータサーバー装置の間の光信号路を一定時間毎に順番に開くことは、すなわち、時間分割型「多：1」双方向光通信である。

【0182】

時間分割の間隔、光パケットのデータ量、光スイッチのON/OFF応答速度、および、クライアント数は相互に関係している。例えば、光スイッチのON/OFF応答速度が充分に早い場合は、時間分割の間隔を短くして、クライアント数を増やしても光パケットのデータ量が不足することはないが、光スイッチのON/OFF応答に時間要する場合、充分なデータ量を提供可能なクライアント数は制限される。

## 【0183】

実施例に記載の通り、本発明で用いる光スイッチは1ミリ秒で充分なON/OFFが可能であるため、例えば、8クライアントに対して、各々1秒間に124ミリ秒ずつ、光信号路を時間分割して提供することができる。したがって、データサーバー装置側光信号送信部1120の変調速度が10Gbpsであれば、光順位タグの部分を含め、光パケットのデータ量を1.24Gビット(155MB)とすることができます。これは画素数2272×1704で1画素についてのカラー情報32ビットの高精細静止カラー画像百枚強を、各々8クライアントに1秒間で送信可能なデータ通信量に相当する。すなわち、例えばモノクロ高精細画像の1000枚積層表示による人体3次元画像を1秒間に8箇所に配信することも可能である。また、デジタルハイビジョンのカラー動画画像を圧縮処理することなく、1秒間に8箇所に配信することも充分可能である。光信号送信部の変調速度を40Gbpsとすることで、更に4倍のデータ量を配信することもできる。

## 【0184】

なお、クライアント数の上限は、光スイッチの多段使用による信号光の減衰によって規定され、通常2～8クライアントまで特に問題なく利用可能であり、更に使用する光ファイバーの伝送ロスなどの条件にもよるが、16ないし32クライアントまで利用可能である。32クライアントの場合、光パケットの有効時間幅は(1000/32-1)=30.25ミリ秒となるが、光信号送信部1120の変調速度を40Gbpsとすることで、光パケットのデータ量として1.21Gビットを確保することができる。

## 【0185】

時間分割型「多：1」双方向光通信であることから、データサーバー装置1000から光信号送信部1120までの電気信号路1400のデータ転送速度Dsは、クライアント装置側の電気信号路1401などのデータ転送速度Dcと、クライアント装置の台数をNcとすると、式〔11〕の関係にあれば良い。

## 【0186】

(数9)

$$Ds \leq Dc \times Nc \quad \cdots [11]$$

## 【0187】

仮にDsが10Gbpsで、クライアント装置が4台であり、クライアント装置側の光信号受信部1131などにて受信した光パケットの情報を電気信号に変換した後、一時記憶してから電気信号として送出するようにすれば、クライアント装置側の電気信号路1401などのデータ転送速度Dcは2.5Gbps以上であれば良い。ただし、クライアント装置側の光信号受信部1131, 1132, 1133などの光信号受信速度はDsと同等以上である必要がある。すなわち、本発明の光制御式光路切替型データ配信装置においては、クライアント装置が2台以上ある場合、クライアント装置側の電気信号路のデータ転送速度に関してはデータサーバー装置側よりも1/2以下に低減することが可能であり、全てを高速なデータ転送速度の部品で結ぶ場合に比べ、装置価格を安くすることができる。

## 【実施例】

## 【0188】

以下、本発明の実施形態について、実施例を参照しながら詳細に説明する。

## 【0189】

## [実施例1]

図4aには、実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置における光学部品要素について概略構成が示されている。図4aに示す光学部品要素に加えて、本実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置は、データサーバー装置、データ通信部の電子回路および電源、クライアント装置、データサーバー装置とデータ通信部を結ぶ電気信号路、データ通信部とクライアント装置を結ぶ電気信号路、および、電源からなる。

## 【0190】

図4aには光制御式光路切替型データ配信装置の部分概略構成として、光信号送信部1

120の一部分、光スイッチ1101の詳細、および、光信号路1110, 1111, 1112, 1113が図示されている。

【0191】

データサーバー装置としては、市販の通常のコンピューターであって、入出力制御部040などを制御する中央演算処理装置の動作周波数3GHz、送信データ記憶部1010として動作する半導体メモリー素子の容量2GB、および、ハードディスク記憶装置容量800GBのものを1台用いた。

【0192】

クライアント装置としては、市販の通常のコンピューターであって、入出力制御部1241などを制御する中央演算処理装置の動作周波数2.8GHz、受信データ記憶部1211として動作する半導体メモリーの容量1GB、および、ハードディスク記憶装置容量250GBのものを4台用いた。

【0193】

データ通信部・データサーバー装置側の電子回路および電源としては、データ送受信制御部1140、光信号送信部1120の制御電子回路、光信号受信部1130および1131などの受光素子および制御電子回路、および、これらの電源を含む。データサーバー装置側のこれらの電子回路としては赤外線レーザーを用いる市販のデータ通信速度10Gbpsの光トランシーバー装置の送信部と受信部を転用して用いた。これらの電源としては、必要とする電圧および電流容量を満足する定電圧電源を用いた。

【0194】

データ通信部・クライアント装置側の電子回路および電源としては、データ送受信制御部1141、1142、1143など、光信号送信部1121などの制御電子回路、光信号受信部1131、1131、1133などの受光素子および制御電子回路、および、これらの電源を含む。クライアント装置側のこれらの電子回路としては赤外線レーザーを用いる市販のデータ通信速度10Gbpsの光トランシーバー装置の送信部と受信部を転用して用い、光パケットの情報を電気信号に変換した後、一時記憶してから電気信号として送出するようにした。これらの電源としては、必要とする電圧および電流容量を満足する定電圧電源を用いた。

【0195】

制御光光源の制御電子回路としては、使用するレーザーダイオードに適合した定電圧電源と光トランシーバー装置の送信部を組み合わせて用いた。

【0196】

データサーバー装置とデータ通信部を結ぶ電気信号路1400としてはデータ転送速度10Gbpsの電気通信規格に準拠したものを、前記10Gbps光トランシーバーの電気信号入出力部と組み合わせて用いた。一方、データサーバー装置側からの1本の光信号路を4台のクライアント装置で時間分割して兼用するため、データ通信部とクライアント装置を結ぶ電気信号路1401, 1402, 1403などとしては、データサーバー装置側のデータ転送速度10Gbpsを確保する必要はなく、この場合、 $10/4 = 2.5$  Gbpsで充分である。そこで、転送速度3Gbps電気通信規格に準拠したものを、前記10Gbps光トランシーバーの電気信号入出力部と組み合わせて用いた。

【0197】

光信号送信部1120を構成する光学部品要素とは、1つの信号光光源20と、信号光120とは波長が異なる、3つの互いに波長の異なる制御光光源21, 22, 23と、信号光120と3つの制御光121, 122, 123の全ての光軸を揃えて同軸で同方向に伝搬させるためのダイクロイックミラー51, 52, 53と、信号光120と3つの制御光121, 122, 123を合わせて、光ファイバー1110へ入射させるための集光レンズ10である。

【0198】

信号光120および3つの制御光121, 122, 123を合わせて伝送する光信号路1110としては単一モードの石英ガラス光ファイバー（長さ10m）を用いた。

## 【0199】

本実施例1の光スイッチは、光ファイバー1110から出射する信号光120および3つの制御光121, 122, 123を実質的に平行ビームに戻すためのコリメートレンズ30と、「熱レンズ入射光の集光レンズ（31, 32, 33）、熱レンズ形成素子（1, 2, 3）、熱レンズ出射光の受光レンズ（41, 42, 43）、波長選択透過フィルター（81, 82, 83）および穴付ミラー（61, 62, 63）」からなる光路切替機構91, 92, 93を3段直列に連結した場合を例示したものである。光路切替機構91および92から出射する直進信号光111および112は、空間的に結合されて、各々後段の光路切替機構92および93の熱レンズ入射光集光レンズ32および33へ入射し、3段目の光路切替機構93から出射する直進信号光113は直進出射信号光の集光レンズ401によって集光され、直進出射信号光として光信号路1114へ入射する。また、光路切替機構91, 92, 93から光路が切替られて出射する信号光211, 212, 213は、各々光路切替後の出射信号光集光レンズ71, 72, 73によって集光され、光路切替後の出射信号光として光信号路1111, 1112, 1113へ入射する。

## 【0200】

出射側の光信号路1111, 1112, 1113, 11114として、通常の单一モード石英ガラス光ファイバー（長さ100m）を用いた。なお、单一モード石英ガラス光ファイバーの代わりにマルチモード石英ガラス光ファイバー、S I型プラスチック光ファイバー、G I型プラスチック光ファイバーなどを、制御光および信号光の透過率／伝送損失特性に応じて選択し、使用することができる。

## 【0201】

光路切替機構の連結数は、互いに波長の異なる信号光光源の数に対応する。ただし、光路切替機構1段当たりの信号光の透過率、光制御式光路切替型データ配信装置に入射する信号光の初期強度、および、最終的に必要な信号光強度から連結可能な段数が計算される。例えば、光路切替機構1段当たりの透過率が85%（信号強度として0.7dB減衰）であれば、4段直列連結の場合の総合透過率は52.2%（同2.8dB減衰）となる。

## 【0202】

以下、図4aに示す3段直列構成を例にして、詳細に説明する。なお、図4aにおける集光レンズ31および熱レンズ形成素子1の部分を抜き出した部分図を図11および図12に、更に受光レンズ41および穴付ミラー61などを加えた部分図を図13および図14に示す。また、光路切替機構を3個以上設けた装置の構成図が複雑になることを避けるため、図4aに示すように光路切替機構91, 92, 93を空間結合型で連結させる場合、空間結合型の光路切替機構の概略構成図（図5の左図）を一部記号化して、図5の右図のように表示することとする。すなわち、例えば、図4aの光制御式光路切替型データ配信装置は図4bのように一部記号化された概略構成図で表示される。図4aと図4bは表記方法が異なる以外は同一内容の概略構成図であることから、以下、図4aと図4bを区別する必要がない場合、単に「図4」と呼ぶこととする。

## 【0203】

また、2つ以上の光路切替機構を光ファイバー結合型で連結させることもできるが、この場合、光ファイバー結合型の光路切替機構の概略構成図を省略して、図9のように表示することとする。

## 【0204】

なお、図4a、図5、図6、図9、および図11ないし図14において、熱レンズ形成素子1を「伝熱層膜501／光吸収層膜兼熱レンズ形成層502／伝熱層膜503」という3層構造として図示するが、熱レンズ形成素子の構成はこれに限定されない。

## 【0205】

本実施例1では、熱レンズ形成素子1, 2および3として、各々前述の色素〔1〕、〔2〕および〔3〕の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子800（図15）を用いた。前記色素を溶解させる溶剤としては徹底的に脱水および脱気したo-ジクロロベンゼンを用いた。光学セル809は熱レンズ形成素子1, 2および3について同一形状のも

のを用い、その色素溶液充填部808の厚さ、すなわち、入射・出射面ガラス801と802の内部における間隔は例えば $200\text{ }\mu\text{m}$ とした。光学セル809の入射・出射面ガラス801と802の外面にはARコートを施した。また、光学セル809の導入口807は、色素溶液の充填および脱気処理を行った後、溶融・封印した。色素溶液の濃度は0.2ないし2重量%の間で調節し、色素〔1〕、〔2〕および〔3〕について、各々532nm、670nmおよび800nmの透過率が0.0ないし0.2%、信号光850nmの透過率が85ないし99%になるよう調整した。

#### 【0206】

本実施例1では、光信号路1110からの入射信号光110をコリメートレンズ30でビーム半径5.0mmのほぼ平行光線になるようにしている。

#### 【0207】

本実施例1では、信号光120の光源20として、10Gbpsでデータ送信可能な発振波長850nmの面発光型半導体レーザーを用いた光トランシーバー送信部を用いている。発振波長1350nm、1550nmの超高速変調可能な半導体レーザー光を用いても良い。また、これら複数の波長の信号光を同時に用いても良い。複数の波長の信号光光源を用いる場合、1つの光パケットは複数の波長の信号光が重ね合わされたものとなり、光信号受信部において波長別に受信される。本実施例1では、熱レンズ形成素子1、2および3に各々熱レンズを形成させるための制御光121、122および123を照射する制御光光源21、22および23として、各々、発振波長532nmの半導体励起Nd:YAGレーザーの2次高調波、670nmおよび800nmの半導体レーザーを用い、制御光の断続によって信号光光路の切替を行っている。制御光121、122および123は、いずれもビーム半径4.5mmの平行光線になるように、ビーム成形して用いている。制御光光源のレーザーパワーは、集光レンズ31、32または33のいずれの手前においても2ないし10mWとしている。

#### 【0208】

制御光121、122および123、および、信号光110、111および112を共通の集光レンズ31、32および33で各々収束させて熱レンズ形成素子1、2および3へそれぞれ照射している。制御光および信号光の各々のビームウエストが、熱レンズ形成素子中において互いに重なり合うように、光信号路1110へ入射させる前に、信号光と制御光をダイクロイックミラー51、52および53を用いて同一光軸、かつ、信号光と制御光が互いに平行になるように調整している。このようにすることによって、制御光ビームウエスト位置における光吸収によって形成された熱レンズ効果を、効率良く信号光の進行方向変更に利用することが可能になる。

#### 【0209】

本実施例1では、熱レンズ形成素子1、2および3の光吸収層膜内の入射面近傍に信号光および制御光のビームウエストが配置されるよう集光レンズ31、32および33と熱レンズ形成素子1、2および3の位置関係をそれぞれ調整し、収束されて熱レンズ形成素子1、2および3へ入射した信号光は、制御光の照射がない場合は、通常の開き角で信号光111、112および113として出射し、一方、制御光が照射された場合は、熱レンズ効果によって通常の開き角よりも大きな角度で断面がリング状の信号光として出射するよう設定した。ここで、熱レンズ形成素子1、2および3を通過した信号光を受光レンズ41、42および43でほぼ平行光にコリメートしている。この受光レンズの開口数（以下、「NA」と呼ぶ。）は、集光レンズのNAよりも大きくなるよう設定している。本実施例1では、集光レンズのNAは0.25、受光レンズのNAは0.55を用いている。受光レンズのNAは、集光レンズのNAの2倍以上が好ましい。この関係が満足されれば、集光レンズとコリメートレンズのNAの組み合わせは、この実施例に限らない。受光レンズのNAを、集光レンズのNAの2倍以上とすることによって、信号光のビーム直径が熱レンズ形成素子へ入射する際の2倍以上まで拡大されても、損失なしに受光することが可能となる。なお、本実施例1では集光レンズと受光レンズの焦点距離は同一とし、集光レンズの有効直径は約10mmのものを用いた。

## 【0210】

受光レンズ41, 42および43でコリメートした信号光を穴付ミラー61, 62および63に入射させている。既に説明したように、この穴付ミラーを設けることで信号光の光路を切り替えることが可能となる。

## 【0211】

本実施例1において、集光レンズ31の焦点距離 $f_1$ と受光レンズ41の焦点距離 $f_2$ は同一とした。したがって、集光レンズ31に入射する信号光110のビーム直径 $d_1$ と受光レンズによって平行光とされた信号光111のビーム直径 $d_2$ は同一であり、前述のように10mmである。したがって、本実施例1における穴付ミラー61の楕円形穴161の短径 $D_1$ は10.1mmないし12mmが好ましく、より好ましくは10.2mmないし11mmであり、実際には10.5mmとした。 $D_2$ は式[7]から14.8mmである。また、ミラーのサイズは、直径30mmのビームを45度反射可能な大きさ(50mm角)のものを用いた。

## 【0212】

光路切替によって、図4に示すように、信号光本来の進行方向から90度方向変換して取り出した信号光(スイッチ信号光)211, 212および213は、集光レンズ71, 72および73で集光して光信号路1111, 1112および1113の光ファイバーに入射させている。

## 【0213】

制御光の光源21, 22および23の全てが消灯している場合、信号光は熱レンズ効果を受けず、信号光111, 112、次いで113として出射する。出射信号光113を集光レンズ401によって集光して光信号路1114の光ファイバーに入射させている。

## 【0214】

本実施例1では、熱レンズ形成素子1, 2および3の後に波長選択透過フィルター81, 82および83を、設けた。それぞれ、波長532nm、670nmおよび800nmの制御光を100%吸収し、それよりも長い、後段の制御光および波長850nmの信号光は99.5%以上透過するものを用いた。

## 【0215】

本実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置は、「集光レンズ、熱レンズ形成素子、受光レンズ、および穴付ミラー」からなる光路切替機構を3段直列に連結したものである。したがって、制御光を全て消灯している場合は信号光は直進して光信号路1114の光ファイバーへ入射するのに対し、制御光21を点灯した場合は信号光211が光信号路1111の光ファイバーへ、制御光21を消灯し制御光22を点灯した場合は信号光212が光信号路1112の光ファイバーへ、更に、制御光21および22を消灯し制御光23を点灯した場合は信号光213が光信号路1113の光ファイバーへ、光路が切り替えられて出射する。なお、複数の制御光を同時に点灯するケースについては後の実施例で説明する。

## 【0216】

光信号路1111, 1112, 1113および1114の光ファイバーに入射した信号光は各々受信側の光信号受信部にて受信され、電気信号に変換され、それぞれ、クライアント装置1201, 1202, 1203および1204へ配信される。

## 【0217】

本実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置において、第1段目の光路切替機構の光応答速度を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121を周波数 $H_z$ から100kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の大小を比較した。

## 【0218】

図4に示す制御光光源21からの制御光121を光検出器に導いてオシロスコープ上で測定した制御光の波形6210および制御光121の明滅に対応して光路切替された信号光211を光検出器に導いてオシロスコープ上で測定した信号光の波形6220を図23

および図24に示す。なお、図24の縦軸は図23の場合の3倍に拡大されている。また、制御光121を断続する矩形波の周波数を200Hzないし100kHzに設定し、そのときの信号光の断続に対応する信号光の波形6220の振幅Lを測定した結果を図25に示す。

#### 【0219】

図23において制御光121(図4)を断続する矩形波の周波数500Hzであり、このときの信号光の断続に対応する信号光の波形6220の振幅Lを基準の1とすると、制御光121(図4)を断続する矩形波の周波数範囲0.2から2kHzにおいて、振幅Lは、ほぼ1であった。すなわち、500マイクロ秒で完全な光路切替が可能であることが確認された。これは、電気ヒーターを用いた熱光学効果を用いた光スイッチ(応答速度はミリ秒オーダー)に比べ、2倍以上の高速応答である。

#### 【0220】

更に周波数を高めた場合の例として、周波数20kHzにおける信号光の波形6220を図25に示す。図25から判るように熱レンズ効果による光路切替が完了しない内に制御光を消灯すると、信号光の波形はのこぎりの刃状になり、振幅Lは小さくなっていく。すなわち、熱レンズ効果の応答速度を超えると光路の切替は不完全になり、信号光の一部は光路切替されずに直進する。

#### 【0221】

以上のような第1段目の光路切替機構において行った光応答速度測定のと同様の測定を、第2段目および第3段目の光路切替機構において、各々信号光122および123を断続させて実施したところ、第1段目と同等の高速応答を示した。

#### 【0222】

本実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置の耐久性を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121、122および123を各々、周波数1kHzで、デュエティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の時間を比較した。その結果、各々連続1万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰しなかった。

#### 【0223】

本実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置の偏波依存性を検証するため、信号光および制御光に1枚の偏光素子を挿入し、偏光角を種々変化させる実験を行ったが、偏波依存性は全く認められなかった。

#### 【0224】

本実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置の出射直進光と光路切替光とのクロストーク特性を調べるため、制御光全て消灯、制御光光源21のみ点灯、制御光光源22のみ点灯、および、制御光光源23のみ点灯の各々の場合について、光信号路の光ファイバ-1111, 1112, 1113, 1114からの出射光強度を比較したところ、目的とする出射光強度に対するモレ光(クロストーク)強度は2000ないし8000:1(-33ないし39dB)と微弱であった。

#### 【0225】

本実施例1の光制御式光路切替型データ配信装置は、1台のデータサーバー装置から4台のクライアント装置へデータ配信するものであり、制御光のONおよびOFFに対応した光路切替に要する時間は、ともに0.5ミリ秒である。したがって、図3に示すような基準クロックパルスのON・OFFに対する光パケットの遅延時間 $\Delta t$ は1ミリ秒である。したがって、1クライアントへ配分できるデータ配信可能時間は最大( $1000/4-1=$ )249ミリ秒である。そこで、光パケットの時間幅を最大249ミリ秒、データサイズを( $10\text{ Gbps} \times 0.249\text{ s} =$ ) $2.49\text{ Gbit}$ 、すなわち最大311MBとすることが可能である。

#### 【0226】

画像データの配信実験として、画素数 $2272 \times 1704$ で1画素についてのカラー情報32ビットの高精細静止カラー画像(画像1枚当たり1.2ないし1.5MB)200

枚からなるデータ240ないし300MBを4ユーザーに各々配信する試験を実施したところ、1秒（光パケット1×4個相当）でデータ配信を完了することができた。

【0227】

また、カラー動画画像を記録した1000MBのファイル4種類を4ユーザーに各々配信する試験を実施したところ、4秒（光パケット4×4個相当）でデータ配信を完了することができた。

【0228】

[比較例1]

実施例1で用いたデータサーバー装置とクライアント装置4台に各々、伝送速度規格値1Gbpsのイーサネット（登録商標）カードを取り付け、データサーバー装置と同1GbpsのスイッチングHUB装置を長さ10mのLANケーブル、および、各クライアント装置と前記スイッチングHUB装置を長さ10mのLANケーブルで接続してデータ転送速度を測定したところ、実施例1で用いたのと同一の1000MBの動画画像ファイルを各クライアント装置へ同時に配信するのに58秒を要した。また、クライアント装置のイーサネット（登録商標）カードを伝送速度規格値100Mbpsのものに変更して、同様の測定を行ったところ、123秒を要した。

【0229】

[実施例2]

本実施例2の光制御式光路切替型データ配信装置は、実施例1（図4）における光路切替機構91, 92, 93を図6に例示されるような光路切替機構191に全て置き換えたものであって、信号光および制御光のビームウェスト（焦点）を熱レンズ形成素子1の受光レンズ41に近い位置6（光の出射側）に設定し、穴付ミラー61の穴161を実施例1の場合よりも小さく、直径2mmとしたものである。その他の構成要素については実施例1の場合と全く同様である。この場合、信号光および制御光のビームウェスト（焦点）を熱レンズ形成素子1の受光レンズ41に近い位置6（光の出射側）に設定するため、熱レンズ形成素子の光吸収層膜における制御光の透過率は、1ないし5%であることが好ましい。光路切替機構191に入射する信号光110のビーム断面光強度分布がガウス分布ないしガウス分布に類似であって、リング状でない場合、円錐プリズム型レンズなどからなるビーム断面リング化レンズ群321によって、信号光ビーム断面の光強度分布をリング状にすることが好ましい。また、信号光と制御光が同時に照射された場合、制御光の光吸収によって形成された熱レンズ60を出射する収束直進信号光119は、ビーム径が小さいため、後段で集光する場合、前述のようにビームウェストが大きめになってしまう。これを避けるため、収束直進信号光119をビームエキスパンダー331によって、入射信号光110と同等の半径5mmまで拡大させた信号光111として出射させることが好ましい。

【0230】

本実施例2の光制御式光路切替型データ配信装置の制御光121, 122, 123の点灯の組み合わせと光路切替の関係は次の通りである。少なくとも制御光121を消灯した場合、信号光110は穴付ミラー61の反射面によって反射され、光路切替信号光211として出射し、集光レンズ71によって集光され、光ファイバー1111へ入射する。制御光121を点灯した場合、信号光110は収束直進信号光119として穴付ミラー61の穴161を通過した後、ビームエキスパンダー331によって入射信号光110と同じビーム径まで拡大されて第2段目の光路切替機構192（図7）に入射する。制御光121が点灯し、制御光122が消灯されている場合、信号光111は光路切替光212として出射し、光ファイバー1112に入射する。制御光121と122が同時に点灯している場合、信号光は直進し、信号光112として第3段目の光路切替機構193（図7）に入射し、制御光121と122が同時に点灯し、かつ、制御光123が消灯している場合、光路切替光213として光ファイバー1113へ入射する。制御光121, 122, 123が全て点灯している場合、信号光110は最終的に直進信号光113として出射し、集光レンズ401によって集光され、光ファイバー1114へ入射する。

## 【0231】

本実施例2の光制御式光路切替型データ配信装置の光応答速度を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121を周波数数H<sub>z</sub>から100kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の大小を比較した。その結果、1Hzのときの信号光の強度振幅を基準として、2kHzまで、強度振幅は変化せず、更に周波数を高めた場合、強度振幅は徐々に減衰し、10kHzのとき半減した。すなわち、500マイクロ秒で完全な光路切替が可能であることが確認された。これは、電気ヒーターを用いた熱光学効果を用いた光スイッチに比べ、2倍以上の高速応答である。制御光122および123を同様に断続しても、121を断続した場合と同等の応答速度が観測された。

## 【0232】

本実施例2の光制御式光路切替型データ配信装置の耐久性を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121, 122, 123を各々周波数1kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の時間を比較した。その結果、各々連続1万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰しなかった。

## 【0233】

本実施例2の光制御式光路切替型データ配信装置の出射直進光と光路切替光とのクロストーク特性を調べるため、制御光全て消灯、制御光121のみ点灯、制御光121および122のみ点灯、および、制御光121, 122, 123全て点灯の各々の場合について、光ファイバー101, 11, 12, 13からの出射光強度を比較したところ、目的とする出射光強度に対するモレ光（クロストーク）強度は1000ないし2000:1（-30ないし33dB）と微弱であった。

## 【0234】

画像データの配信実験として、画素数2272×1704で1画素についてのカラー情報32ビットの高精細静止カラー画像（画像1枚当たり1.2ないし1.5MB）200枚からなるデータ240ないし300MBを4ユーザーに各々配信する試験を実施したところ、1秒でデータ配信を完了することができた。

## 【0235】

## [実施例3]

実施例1における穴付ミラー61の設置角度（信号光110の光軸に対して45度）を変更し、楕円状穴161の形状（短径に対する長径の長さ）を設置角度に基づいて三角関数を用いて計算して決定することによって、信号光110の光軸に対する光路切替の角度を、およそ5度から175度の範囲で自由に変更することができる。第2段目以降の穴付ミラー62および63の設置角度を同様に変更可能である。

## 【0236】

また、信号光110の光軸を回転軸として、穴付ミラー61の設置位置を回転し、集光レンズ71等の位置を移動することによっても、信号光110の光軸に対する光路切替の方向を、0から360度の範囲で自由に変更することができる。第2段目以降の穴付ミラー62および63の設置位置を同様に変更することもできる。

## 【0237】

## [実施例4]

図8には、実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置の部分概略構成が示されている。図8において信号光光源20、制御光光源21, 22, 23、ダイクロイックミラー51, 52, 53、集光レンズ10、光ファイバー100、および、コリメートレンズ30は実施例1の場合と同一である。

## 【0238】

図8の光制御式光路切替型データ配信装置は、実施例1の第2段目の光路切替機構92に1つ、更に、第1段目の光路切替機構91の後段に3つの光路切替機構を空間結合型で追加、連結し、合計7つの光路切替機構によって、また、3種類の制御光の同時点灯の組み合わせによって、信号光120の出射先を光ファイバー5101, 5102, 5103

、 5 1 0 4, 5 0 1 3, 5 0 1 4, 5 0 1 5, および 5 0 1 6 の 8 方向へ光路切替して 8 つのクライアント装置へデータ配信するものである。すなわち、原理的には一般に、 $n$  を 2 以上の整数として、 $n$  種類の制御光の点灯状況の組み合わせによって、2 の  $n$  乗方向の光路切替が、2 の  $n$  乗引く 1 個の光路切替機構を連結することによって可能になる。実際には光路切替機構 1 段当たりの信号光の透過率の組み合わせによって、実用的な組み合わせ段数が決まる。光路切替機構で光路が切り替わらない「直進信号光」の透過率を 85 % (信号強度として 0.7 dB 減衰)、光路が切り替えられた「切替信号光」の減衰率を 80 % (同 1.0 dB 減衰) と仮定すると、全て直進した場合の総合透過率は 61.4 % (同 2.1 dB 減衰)、3 段とも切り替えられた場合の総合透過率は 51.2 % (同 2.9 dB 減衰) である。表 2 に 3 種類の制御光 121, 122, 123 の同時点灯の組み合わせと信号光出射先をまとめて示す。

〔0239〕

【表2】

	制御光			信号光 出射先
	121	122	123	
制御光の組合せ	off	off	off	5101
	off	off	on	5013
	off	on	off	5014
	off	on	on	5102
	on	on	off	5104
	on	on	on	5016
	on	off	off	5015
	on	off	on	5103

【0 2 4 0】

第1段目の光路切替機構91の熱レンズ形成素子としては、実施例1の場合と同様に波長532 nmの信号光121を吸収する色素〔1〕の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子を用いた。波長透過率特性も実施例1の場合と同一とした。

[0 2 4 1]

第2段目の光路切替機構92（光路切替機構91からの直進光111と空間的に結合）と95（光路切替機構91からの切替光211と空間的に結合）の熱レンズ形成素子としては、いずれの場合も、実施例1の場合と同様に波長670nmの信号光122を吸収する色素〔2〕の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子を用いた。波長透過率特性については後で説明する。

[0 2 4 2]

第3段目の光路切替機構93（光路切替機構92からの直進光112と空間的に結合），94（同92からの切替光212と空間的に結合），96（同95からの切替光215と空間的に結合），97（光路切替機構95からの直進光115と空間的に結合）の熱レンズ形成素子としては、いずれの場合も、実施例1の場合と同様に波長800nmの信号光123を吸収する色素〔3〕の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子を用いた。波長透過率特性については後で説明する。

[0243]

ここで、前段の光路切替機構からの直進光と結合する後段の光路切替機構 92, 93, 97においては、実施例 1 における光路切替機構の場合と同様に、集光レンズ 31 などによって信号光および制御光を図 11 (a) および図 13 の位置 5 に相当する位置、すなわち

ち、熱レンズ素子の光吸収層膜の入射面に近い位置において焦点を結ぶように調整し、更に、穴付ミラー61などの穴161などの大きさも、実施例1の場合と同一とした。このようにすることで、前段の光路切替機構からの直進光を効率良く、後段の光路切替機構で直進または切替することが可能になる。光路切替機構92, 93, 97においては、各々の制御光の透過率が0.0ないし0.2%、信号光850nmの透過率が85ないし99%になるよう調節した。

#### 【0244】

一方、前段の光路切替機構からの光路切替光（リング状断面の光）と結合する後段の光路切替機構94, 95, 96においては、実施例2における光路切替機構191の場合と同様に、集光レンズ31などによって信号光および制御光を図11（b）および図14の位置6に相当する位置、すなわち、熱レンズ素子の光吸収層膜の出射面に近い位置において焦点を結ぶように調整し、更に、穴付ミラー61などの穴161などの大きさも、実施例2の場合と同一とした。ただし、光路切替機構94, 95, 96には、前段の光路切替機構から、光路が切り替えられたリング状の信号光212, 211, 215が各々空間結合されて、リング状のまま入射するため、光路切替機構191におけるビーム断面リング化レンズ群321（図6）は設けなかった。一方、収束直進信号光119のビーム径を拡大するためのビームエキスパンダー331（図6）は、光路切替機構94, 95, 96の各々に設けた。

#### 【0245】

このようにすることで、前段の光路切替機構からのリング状断面の光路切替光を効率良く、後段の光路切替機構で直進または切替することが可能になる。光路切替機構94, 95, 96においては、各々の制御光の透過率が1.0ないし5.0%、信号光850nmの透過率が85ないし99%になるよう調節した。

#### 【0246】

第3段（最終段）の光路切替機構から出射する直進光113, 114, 116, 117については、各々、集光レンズ401, 402, 403, 404によって集光され、出射信号光光ファイバー5101, 5102, 5103, 5104へ入射する。同じく出射する光路切替光213, 214, 216, 217については、各々、集光レンズ73, 74, 75, 76によって集光され、出射信号光光ファイバー5013, 5014, 5015, 5016へ入射する。これら光ファイバーの仕様は、実施例1の場合と同様である。

#### 【0247】

本実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置において、第1ないし3段目の光路切替機構の光応答速度を実施例1の場合と同様にして測定したところ、同様な結果が得られた。

#### 【0248】

本実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置の耐久性を実施例1の場合と同様にして測定したところ、各光路切替機構とも、各々連続1万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰せず、高い耐久性を確認することができた。

#### 【0249】

本実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置の偏波依存性を検証するため、信号光および制御光に1枚の偏光素子を挿入し、偏光角を種々変化させる実験を行ったが、偏波依存性は全く認められなかった。

#### 【0250】

本実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置の8本の出射信号光間のクロストーク特性を調べるため、表2に示す制御光点灯の組み合わせ8通りの各々の場合について、光ファイバー5013, 5014, 5015, 5016, 5101, 5102, 5103, 5104からの出射光強度を比較したところ、目的とする出射光強度に対するモレ光（クロストーク）強度は1000ないし8000:1（-30ないし39dB）と微弱であった。

#### 【0251】

本実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置は、1台のデータサーバー装置から8台のクライアント装置へデータ配信するものであり、制御光のONおよびOFFに対応した光路切替に要する時間は、ともに0.5ミリ秒である。したがって、図3に示すような基準クロックパルスのON・OFFに対する光パケットの遅延時間 $\Delta t$ は1ミリ秒である。したがって、1クライアントへ配分できるデータ配信可能時間は最大(1000/8-1=)124ミリ秒である。そこで、光パケットの時間幅を最大124ミリ秒、データサイズを(10Gbps×0.124s=)1.24Gbit、すなわち最大155MBとすることが可能である。

#### 【0252】

画像データの配信実験として、画素数 $2272 \times 1704$ で1画素についてのカラー情報32ビットの高精細静止カラー画像(画像1枚当たり1.2ないし1.5MB)100枚からなるデータ120ないし150MBを8ユーザーに各々配信する試験を実施したところ、1秒でデータ配信を完了することができた。

#### 【0253】

##### [実施例5]

図10には、実施例5の光制御式光路切替型データ配信装置の概略構成が示されている。本実施例5は、実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置における空間結合型光路切替機構91, 92, 93, 94, 95, 96, 97(図5または図6に相当する)を光ファイバー結合型光路切替機構910, 920, 930, 940, 950, 960, 970(全て図9に相当)に置き換えたものである。前記光ファイバー結合型光路切替機構の全てにおいて、実施例1における光路切替機構の場合と同様に、集光レンズ31などによって信号光および制御光を図11(a)および図13の位置5に相当する位置、すなわち、熱レンズ素子の光吸収層膜の入射面に近い位置において焦点を結ぶように調整し、更に、穴付ミラー61などの穴161などの大きさも、実施例1の場合と同一とした。また、前記光ファイバー結合型光路切替機構の全てにおいて、熱レンズ形成素子の構成、材料、および、透過率特性は実施例1の場合と同一とした。個々の光ファイバー結合型光路切替機構を接続する光ファイバーとしては単一モード石英ガラス光ファイバーを使用し、その長さは、一般家庭内、病院内、オフィス内などの用途を想定し、10ないし100mとした。

#### 【0254】

光ファイバー結合に基づく制御光のロスを補うために制御光光源21, 22, 23の出力を高めることによって、全段の光路切替機構において、熱レンズ形成素子に入射する制御光のパワーが2ないし5mWになるよう調整した。また、信号光光源の出力も、8つの出射信号光が各々充分なパワーになるよう調節した。

#### 【0255】

第3段目の光路切替機構930、940、960、970の直進出射信号光は、光ファイバーとコリメートレンズを経由して各々受光器3013, 3014, 3016, 3017へ入射させ、光路切替された信号光は、光ファイバーとコリメートレンズを経由して各々受光器4013, 4014, 4016, 4017へ入射させた。

#### 【0256】

表3に本実施例5における3種類の制御光121, 122, 123の同時点灯の組み合わせと信号光出射先受光器の対応関係をまとめて示す。

#### 【0257】

【表3】

	制御光			信号光 出射先
	121	122	123	
制 御 光 の 組 合 せ	off	off	off	3013
	off	off	on	4013
	off	on	off	3014
	off	on	on	4014
	on	on	off	3016
	on	on	on	4016
	on	off	off	3017
	on	off	on	4017

## 【0258】

本実施例5の光制御式光路切替型データ配信装置の光応答速度、耐久性、偏波依存性、および、クロストークについて実施例4の場合と同様に測定し、同等ないし同等以上の結果を得た。

## 【0259】

本実施例5の光制御式光路切替型データ配信装置は、1台のデータサーバー装置から8台のクライアント装置へデータ配信するものであり、制御光のONおよびOFFに対応した光路切替に要する時間は、ともに0.5ミリ秒である。したがって、図3に示すような基準クロックパルスのON・OFFに対する光パケットの遅延時間 $\Delta t$ は1ミリ秒である。したがって、1クライアントへ配分できるデータ配信可能時間は最大124ミリ秒である。そこで、光パケットの時間幅を最大124ミリ秒、データサイズを1.24Gbit、すなわち最大155MBとすることが可能である。

## 【0260】

画像データの配信実験として、画素数 $2272 \times 1704$ で1画素についてのカラー情報32ビットの高精細静止カラー画像（画像1枚当たり1.2ないし1.5MB）100枚からなるデータ120ないし150MBを8ユーザーに各々配信する試験を実施したところ、1秒でデータ配信を完了することができた。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0261】

光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法は、例えば、企業のオフィス、工場、病院、一般家庭などにおいて、高精細画像データおよび高精細動画データなどの大容量デジタル情報を、サーバーから、複数のクライアントの中から選択された特定の1箇所以上へ、高速に配信するシステムにおいて好適に使用される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0262】

【図1】光制御式光路切替型データ配信装置の概略構成図である。

【図2】データサーバー装置からデータ通信部を経由して特定のクライアント装置まで、光パケット、光順位タグ、および、光宛先タグを用いてデータを配信するデータの流れを表す図である。

【図3】光パケット、光宛先タグ、および、基準クロックパルスの同期を表す図である。

【図4a】実施例1の光路切替機構を省略せずに表記した光制御式光路切替型データ配信装置の部分概略構成図である。

【図4 b】実施例1の光路切替機構を記号化して簡略表記した光制御式光路切替型データ配信装置の部分概略構成図である。

【図5】空間結合型の光路切替機構の概略構成図を記号化して簡略表記することを示した図である。

【図6】空間結合型の光路切替機構の概略構成図を記号化して簡略表記することを示した図である。

【図7】実施例2の光制御式光路切替型データ配信装置の概略構成図を記号化して簡略表示した図である。

【図8】実施例4の光制御式光路切替型データ配信装置の概略構成図を記号化して簡略表示した図である。

【図9】光ファイバー結合型の光路切替機構の概略構成図を記号化して簡略表記することを示した図である。

【図10】実施例5の光制御式光路切替型データ配信装置の概略構成図を記号化して簡略表示した図である。

【図11】熱レンズが形成されない場合の光の進み方を示した図である。

【図12】ビームウェストの位置を光吸収層膜のビーム入射側近傍（a）または出射側近傍（b）に調整した場合において熱レンズが形成された場合の光の進み方を示した図である。

【図13】ビームウェストの位置を光吸収層膜のビーム入射側近傍に調整した場合における光路切替の原理を示した模式図である。

【図14】ビームウェストの位置を光吸収層膜のビーム出射側近傍に調整した場合における光路切替の原理を示した模式図である。

【図15】色素溶液充填式熱レンズ形成素子を例示した模式図である。

【図16】色素〔1〕、〔2〕および〔3〕の溶液の透過率スペクトルを各々実線、鎖線および一点鎖線で表した図である。

【図17】集光レンズなどで収束されたガウスビームの焦点近傍における様子を表した模式図である。

【図18】出射信号光ビームを半透明スクリーンへ投射して背面から撮影した写真であって、ビームウェストの位置を光吸収層膜のビーム入射側近傍に調整して制御光と同時照射した場合（a）、制御光なしに信号光のみを収束照射した場合（b）、および、ビームウェストの位置を光吸収層膜のビーム出射側近傍に調整した場合（c）の出射信号光ビーム断面を表す図である。

【図19】信号光ビーム断面の光強度分布測定に用いたスリットと光ビームとの関係を示す図である。

【図20】信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図21】信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図22】信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図23】オシロスコープで観察した制御光および信号光の波形を表した図である。

【図24】オシロスコープで観察した制御光および信号光の波形を表した図である。

【図25】制御光を断続する周波数と光路切替された信号光の強度（振幅）の関係を表した図である。

### 【符号の説明】

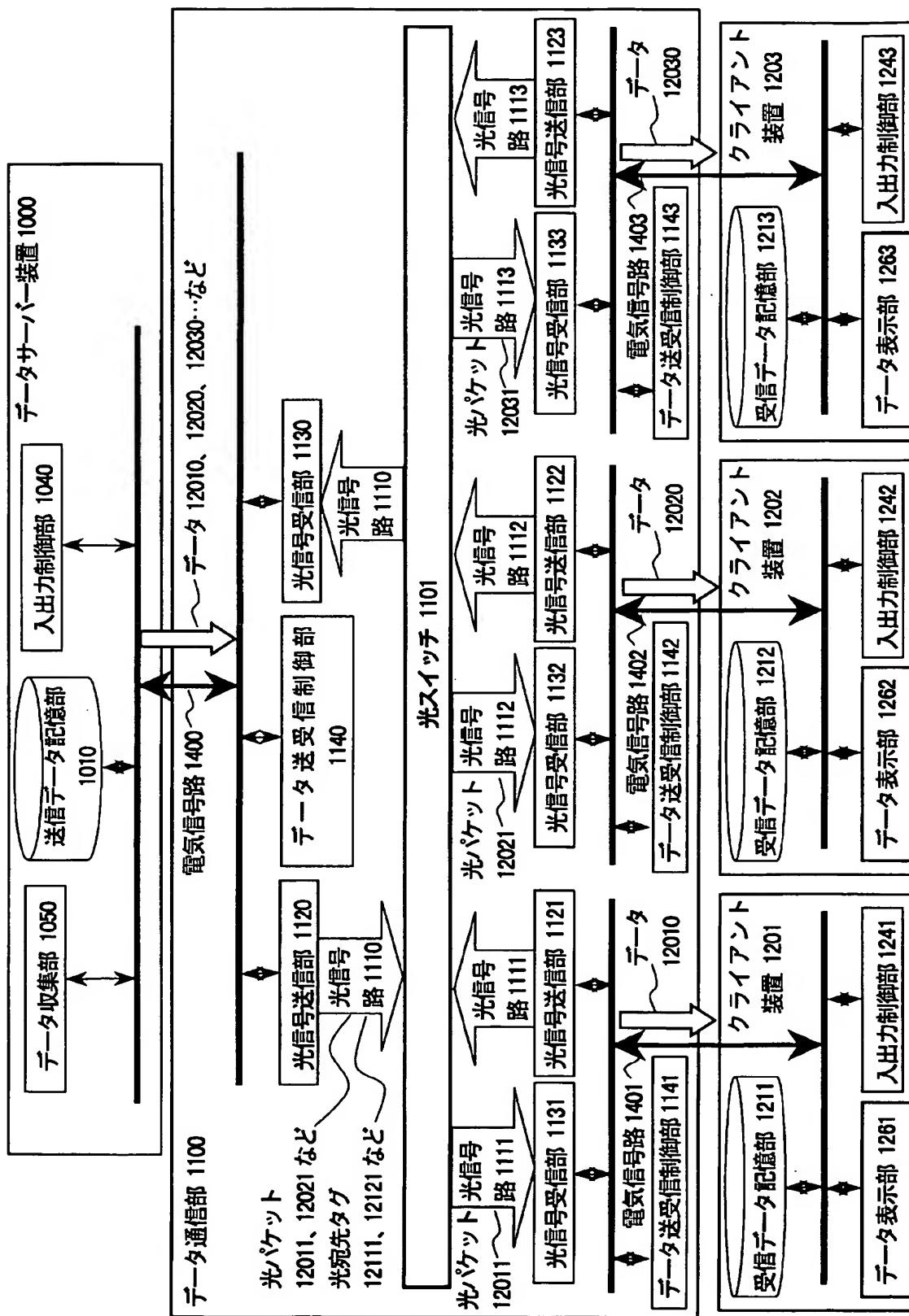
#### 【0263】

1, 2, 3 热レンズ形成素子、5, 6 ビームウェスト（焦点）, 10 信号光および制御光を光ファイバーへ入射させるための集光レンズ、20 信号光光源、21, 22, 23 制御光光源、30 コリメートレンズ、31, 32, 33 集光レンズ、41, 42, 43 受光レンズ、50 入射側熱レンズ、51, 52, 53 ダイクロイックミラー、60 出射側熱レンズ、61, 62, 63 穴付ミラー、71, 72, 73, 74, 75, 76 リング状出射信号光用集光レンズ、81, 82, 83 波長選択透過フィルター、91, 92, 93, 94, 95, 96, 97 空間結合型光路切替機構、11

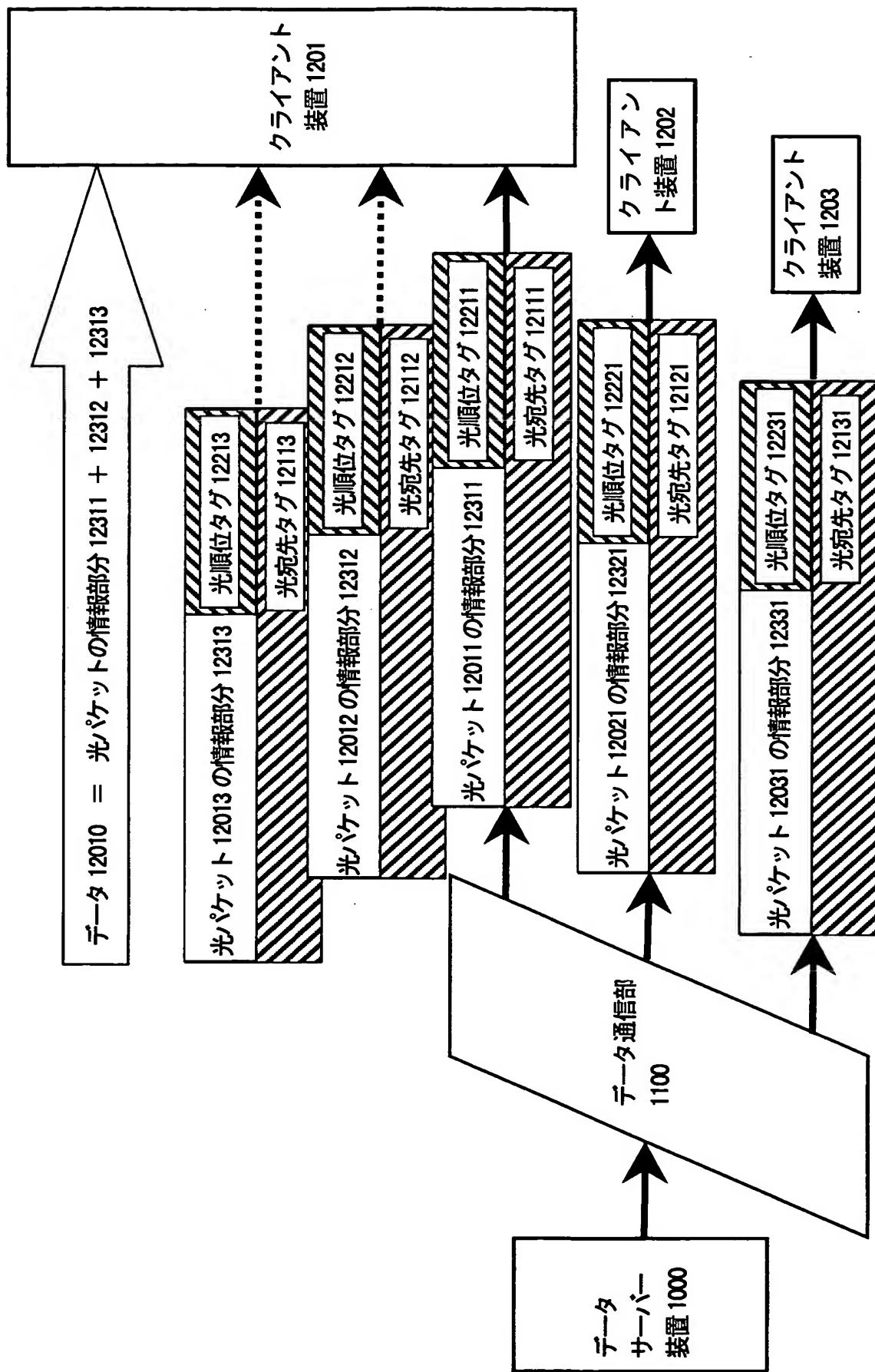
0 コリメートされた入射信号光および入射制御光、111, 112, 113, 114, 115, 116, 117 直進信号光、118 漏れ信号光、119 収束直進信号光、120 信号光、121, 122, 123 制御光、161 穴付ミラーの穴、191, 192, 193 空間結合型光路切替機構、200 通常の開き角度の出射信号光、201 リング状に拡がる出射信号光、211, 212, 213, 214, 215, 216, 217 光路切替後の出射信号光、300 波面、301 ビームウエスト（焦点；集光点）、310 直進出射信号光の集光レンズ、311 コリメートレンズ、321 ビーム断面リング化レンズ群、331 ビームエキスパンダー、401, 402, 403, 404 直進出射信号光の集光レンズ、501 伝熱層膜、502 光吸収層膜兼熱レンズ形成層、503 伝熱層膜、700 光強度分布測定器、701 受光部、702 第一のスリット、703 第二のスリット、710 点、711 コリメートレンズ、720 点、800 色素溶液充填式熱レンズ形成素子、801, 802 入射・出射面ガラス、803, 804 側面ガラス、805 底面ガラス、806 導入管、807 導入口、808 色素溶液充填部、809 光学セル、910, 920, 930, 940, 950, 960, 970 光ファイバー結合系を含む光路切替機構、1000 データサーバー装置、1010 送信データ記憶部、1040 入出力制御部、1050 データ収集部、1100 データ通信部、1101 光スイッチ、1110, 1111, 1112, 1113, 1114 光信号路、1120, 1121, 1122, 1123 光信号送信部、1130, 1131, 1132, 1133 光信号受信部、1140, 1141, 1142, 1143 データ送受信制御部、1201, 1202, 1203 クライアント装置、1211, 1212, 1213 受信データ記憶部、1241, 1242, 1243 入出力制御部、1261, 1262, 1263 データ表示部、1400, 1401, 1402, 1403 電気信号路、3013, 3014, 3016, 3017 受光器、3110, 3120, 3130, 3140, 3150, 3160, 3170 コリメートされた光ファイバー出射光、4013, 4014, 4016, 4017 受光器、4110, 4120, 4130, 4140, 4150, 4160, 4170 コリメートされた光ファイバー出射光、5013, 5014, 5015, 5016 光信号路、5101, 5102, 5103, 5104 光信号路、6210 制御光の波形、6220 信号光の波形、12000, 12001, 12002, 12003, 12004, 12005 光パケット、12010, 12020, 12030 データ、12011, 12012, 12013, 12021, 12031 光パケット、12111, 12112, 12113, 12121, 12131 光宛先タグ、12211, 12212, 12213, 12221, 12231 光順位タグ、12311, 12312, 12313, 12321, 12331 光パケットの情報部分、13000, 13002, 13004, 13006, 13008, 13010 基準クロックパルスのON状態、13001, 13003, 13005, 13007, 13009 基準クロックパルスのOFF状態。

【書類名】図面

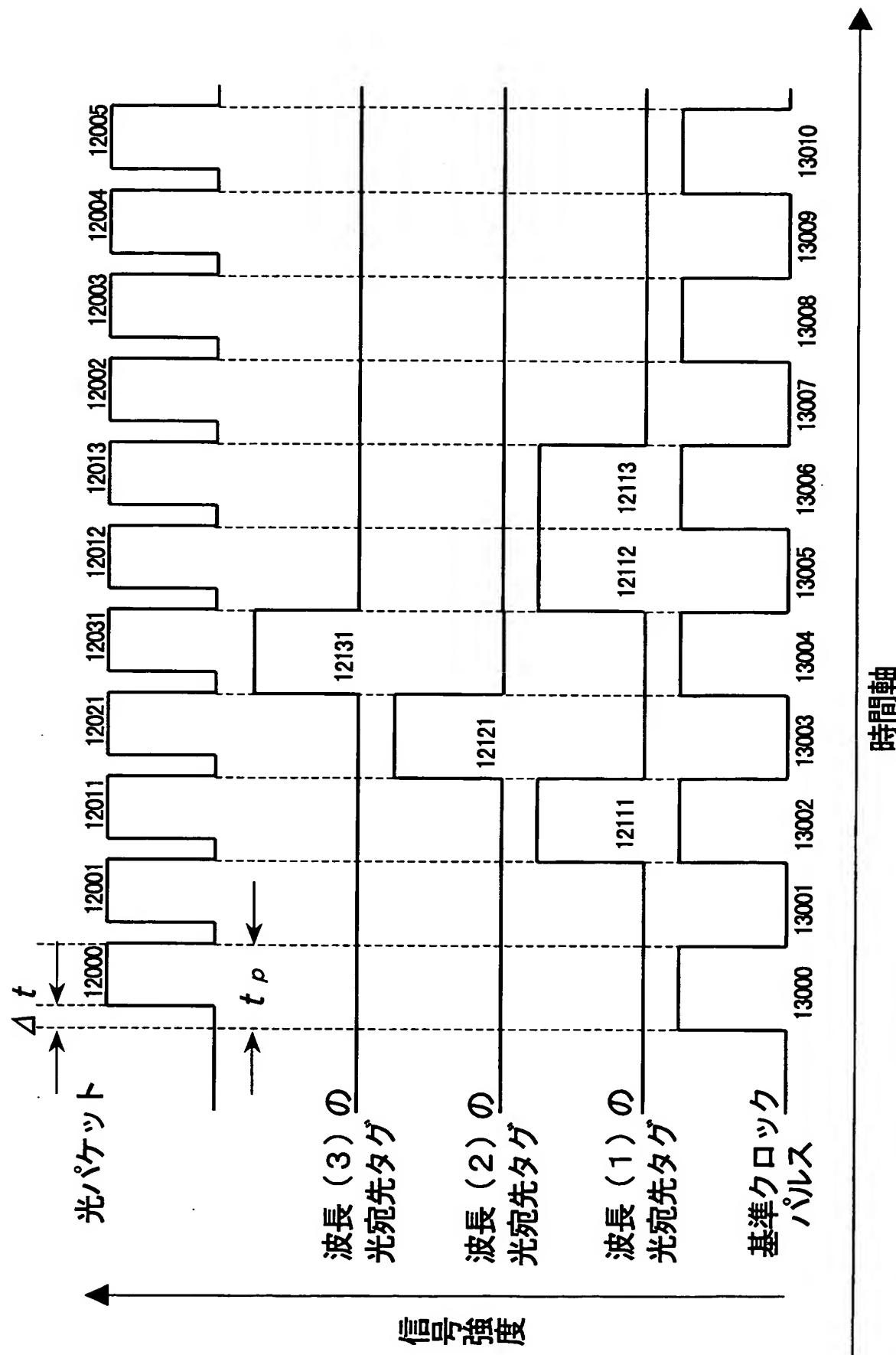
【図 1】



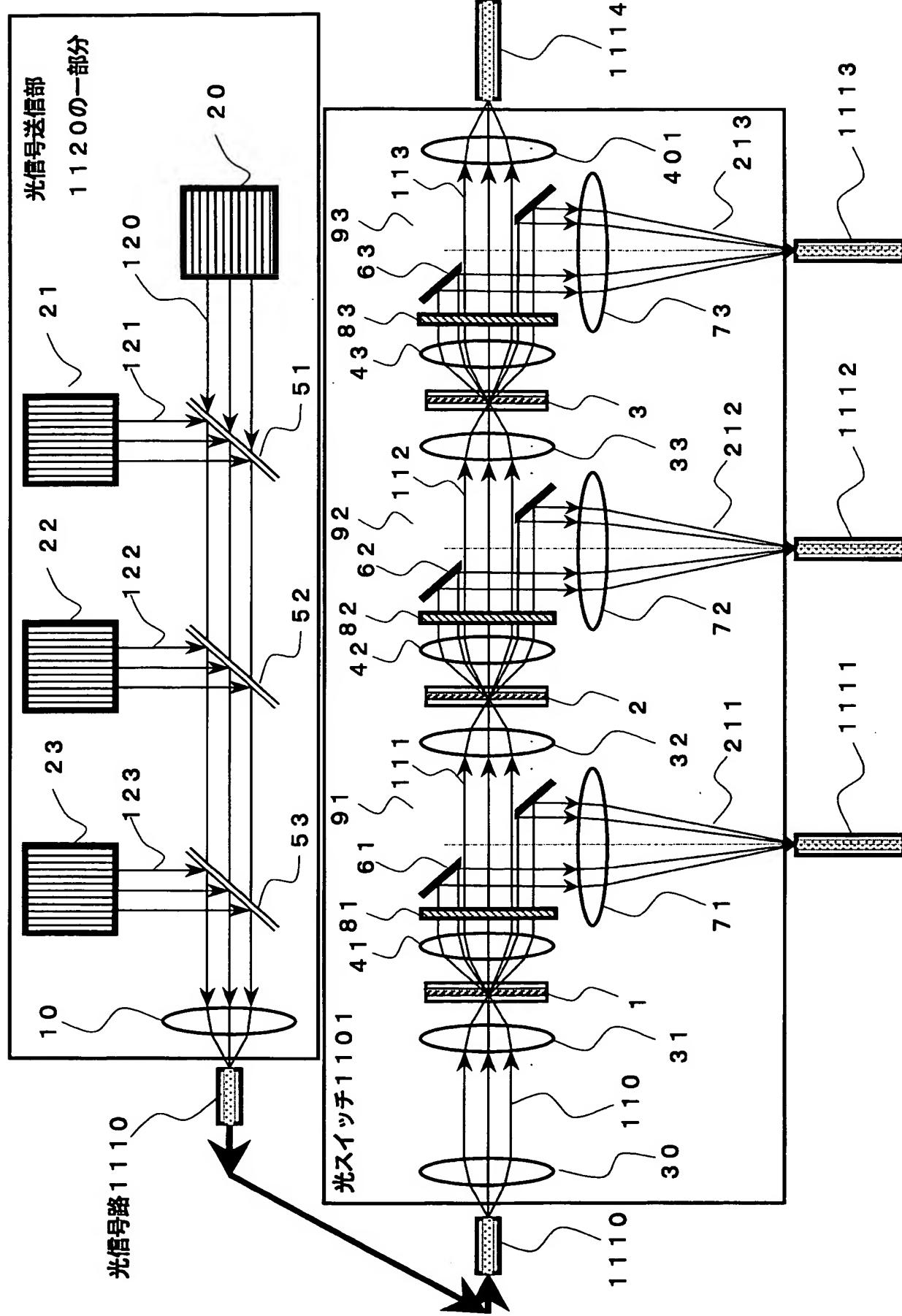
【図 2】



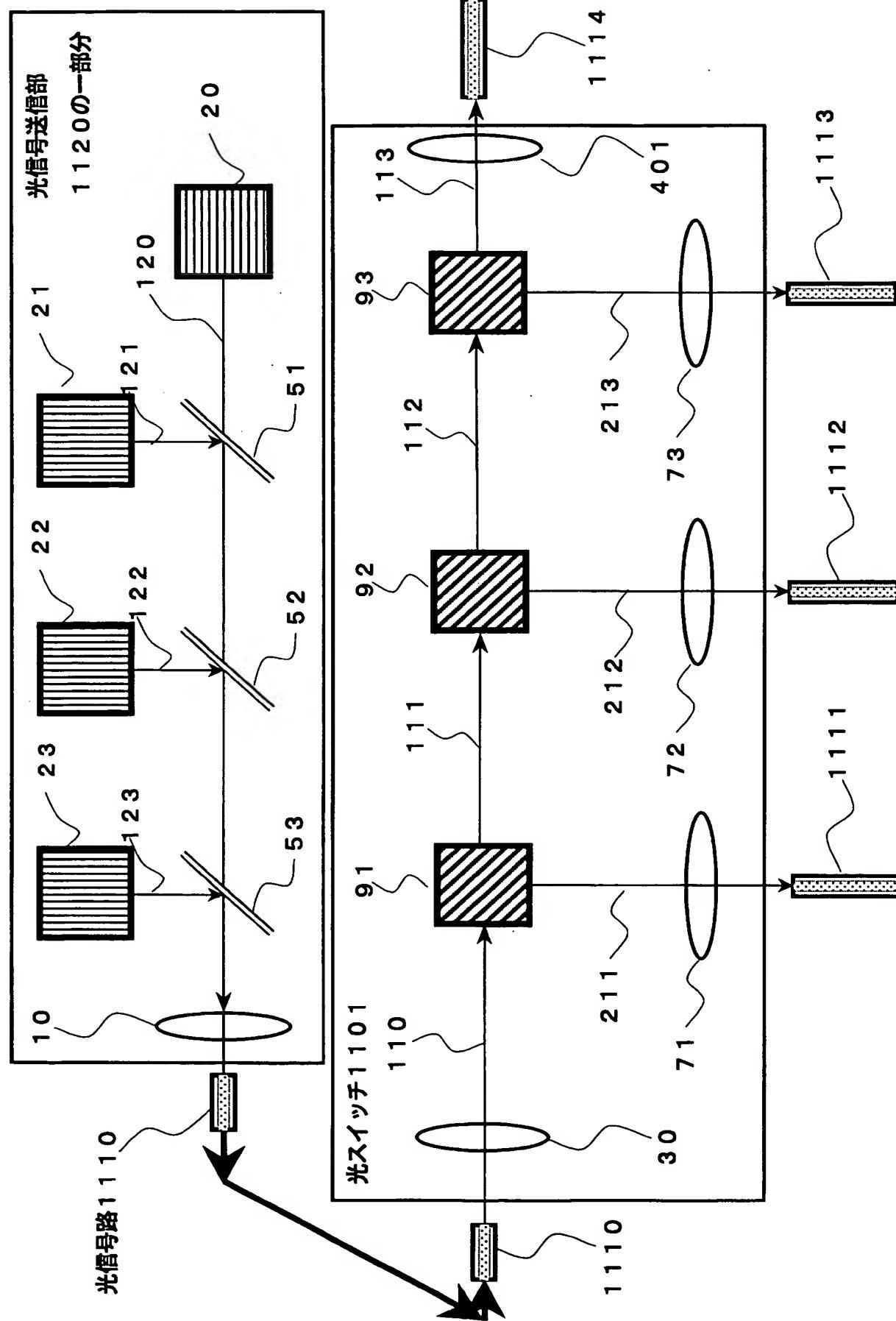
【図 3】



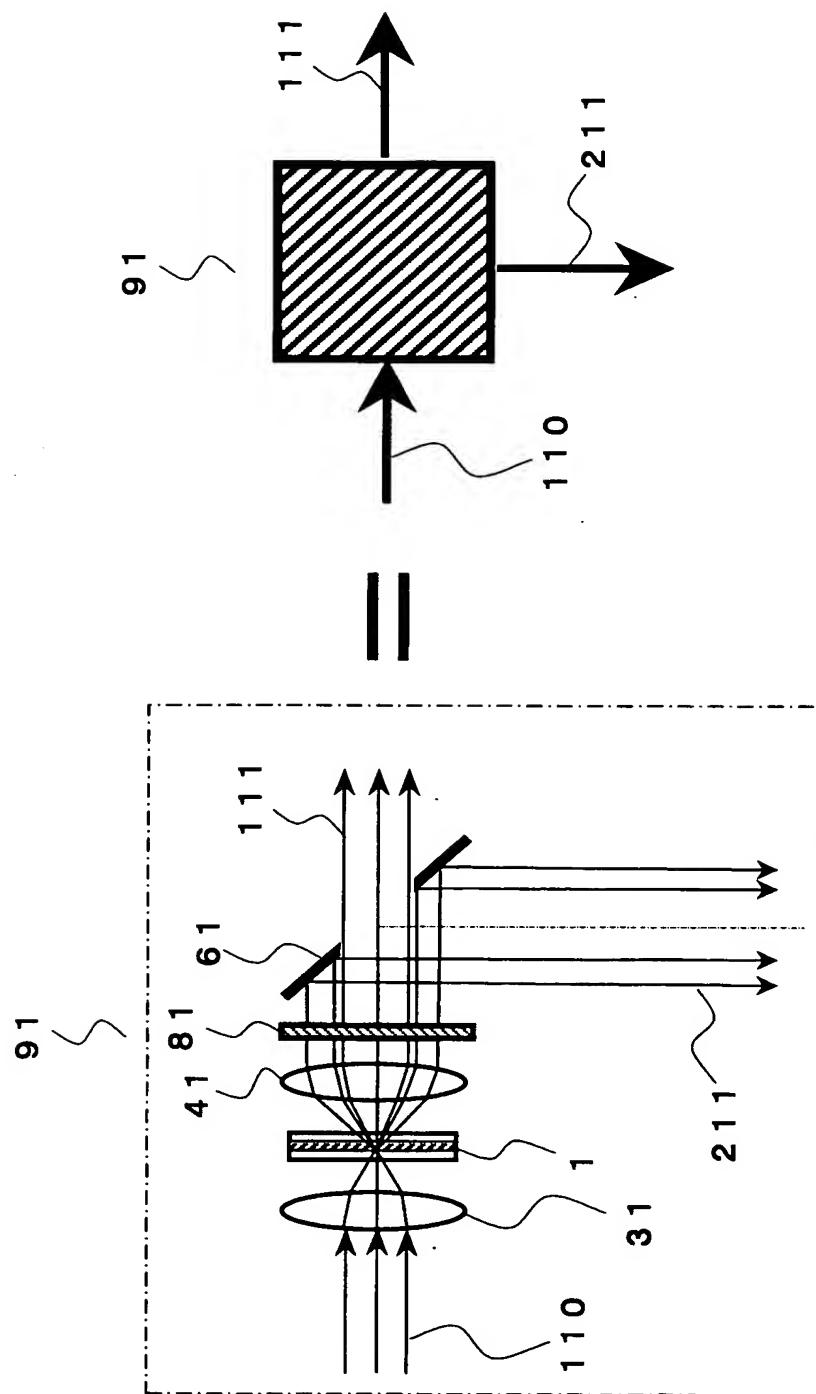
【図 4 a】



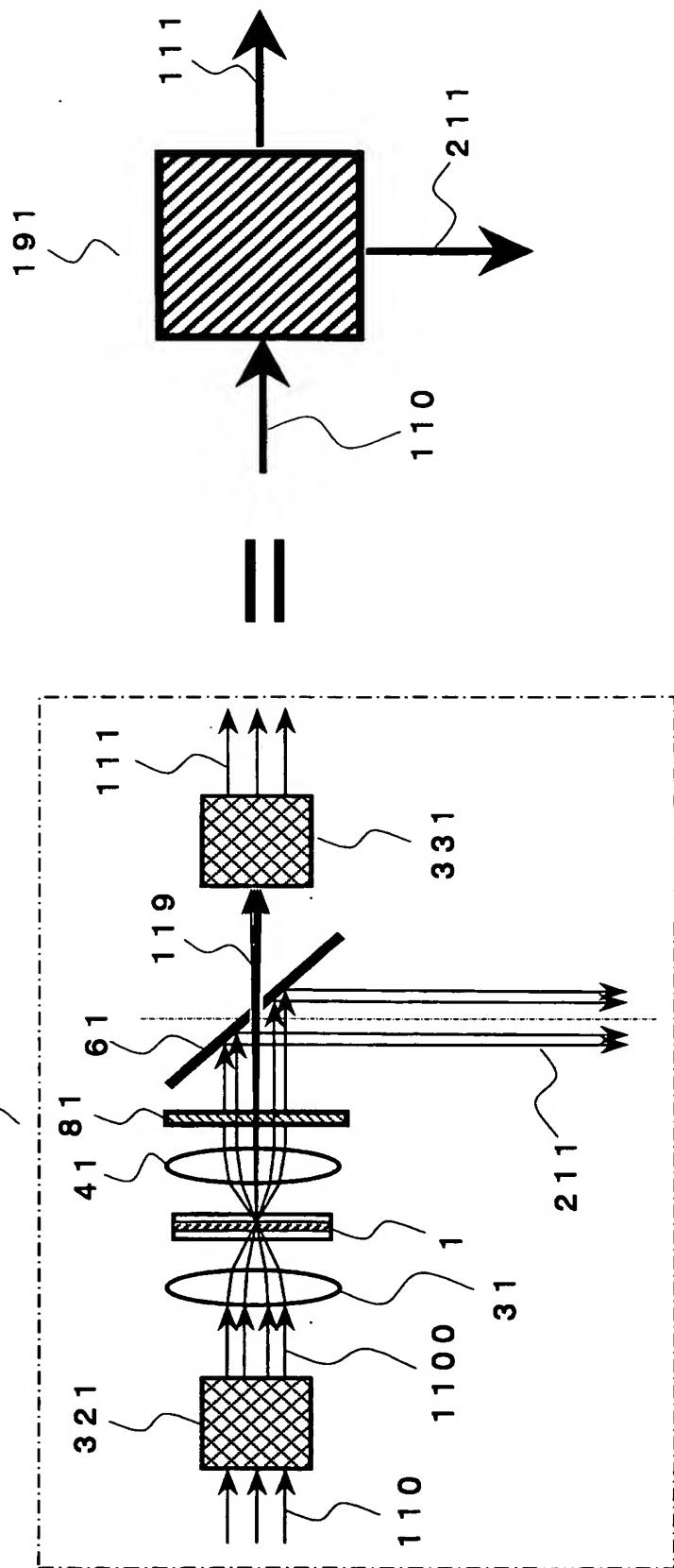
【図4b】



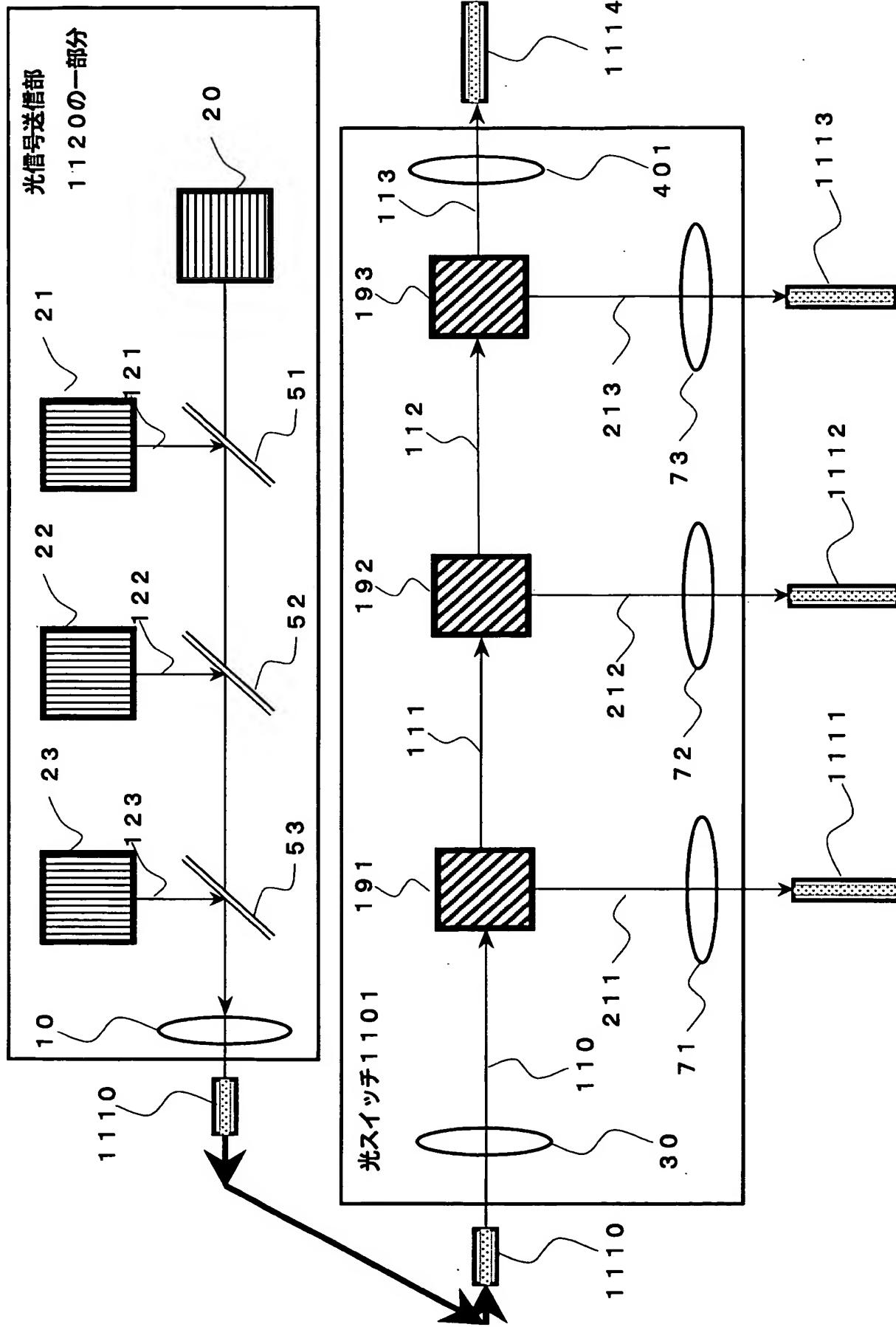
【図5】



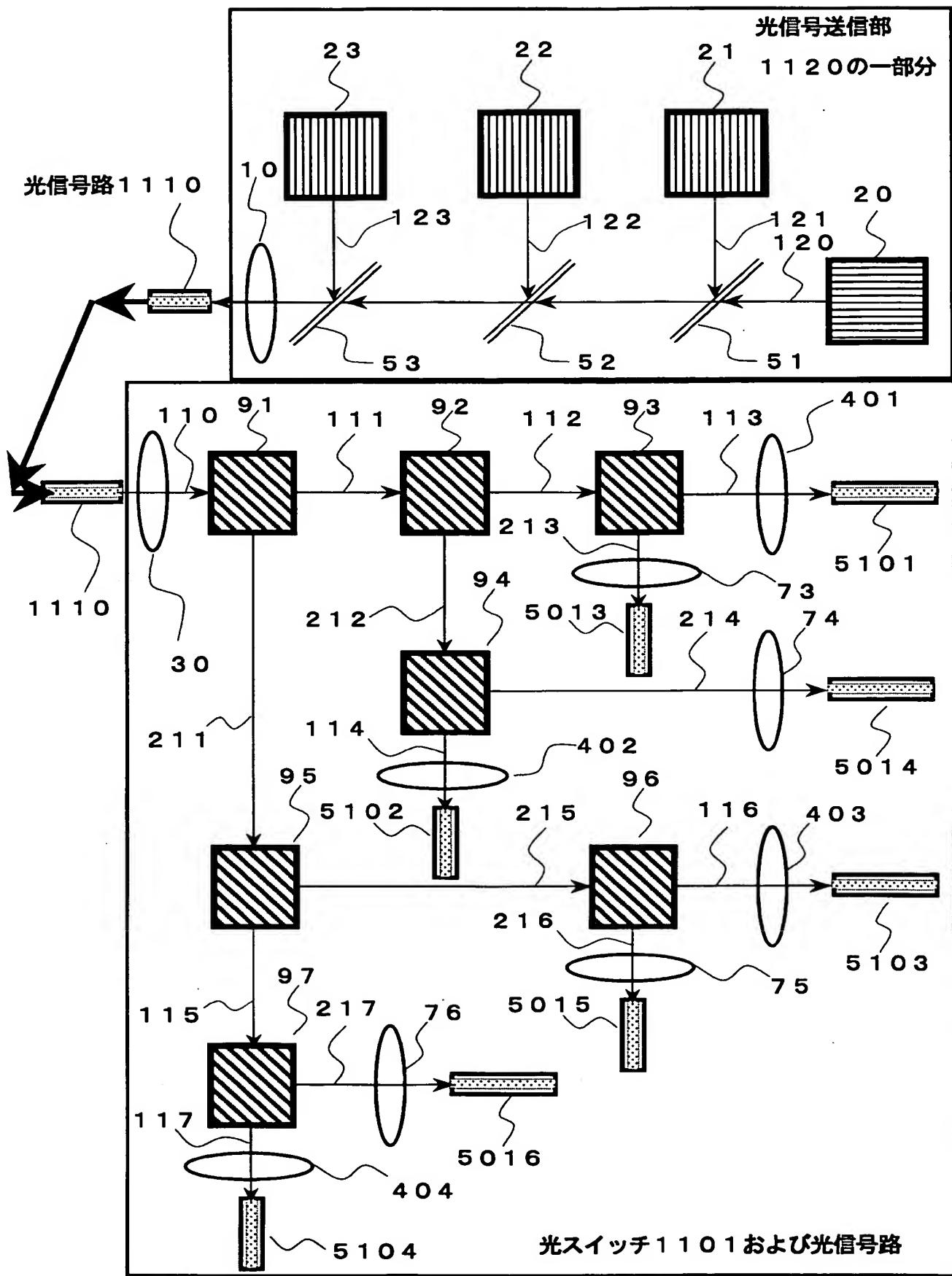
【図6】



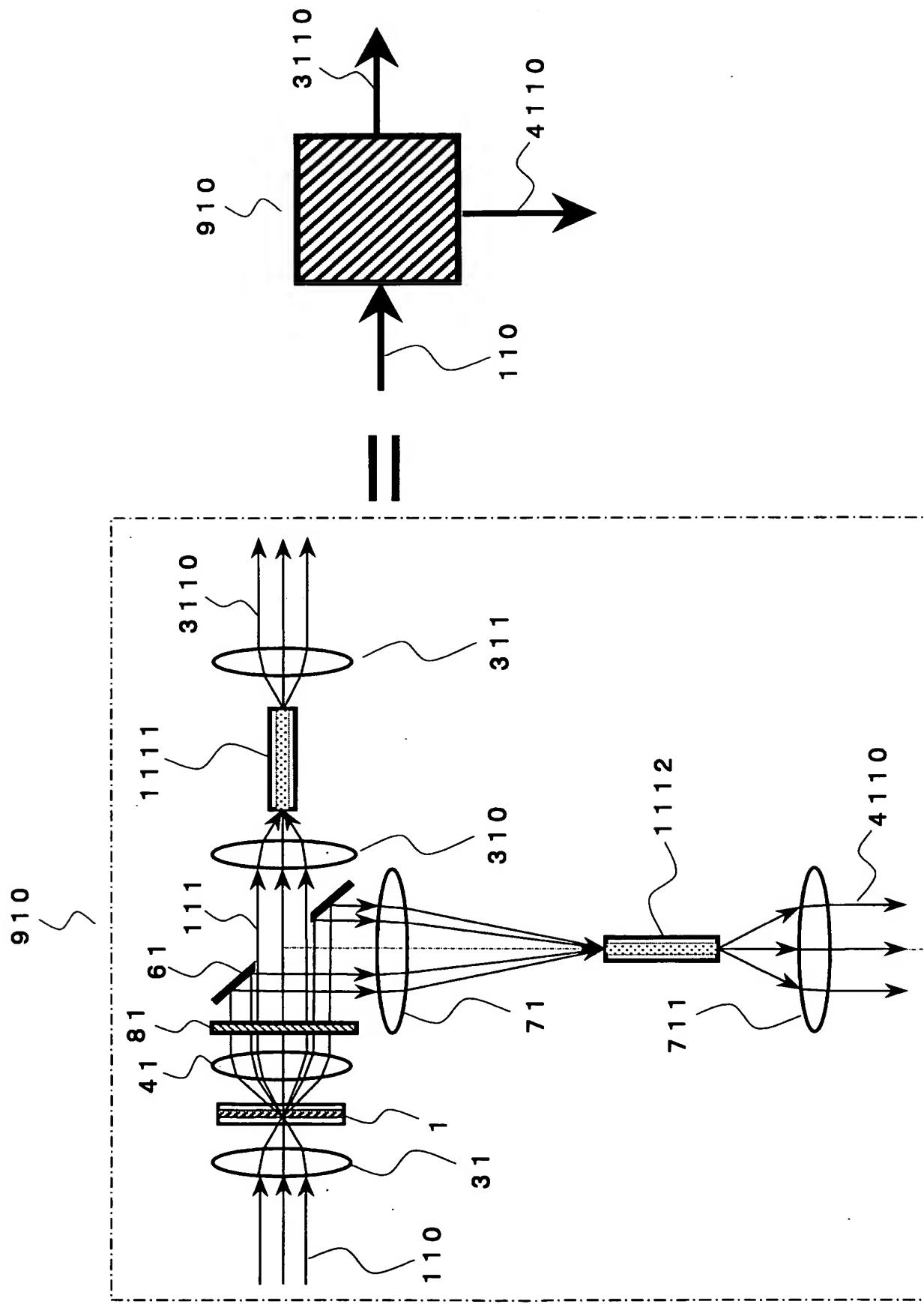
【図 7】



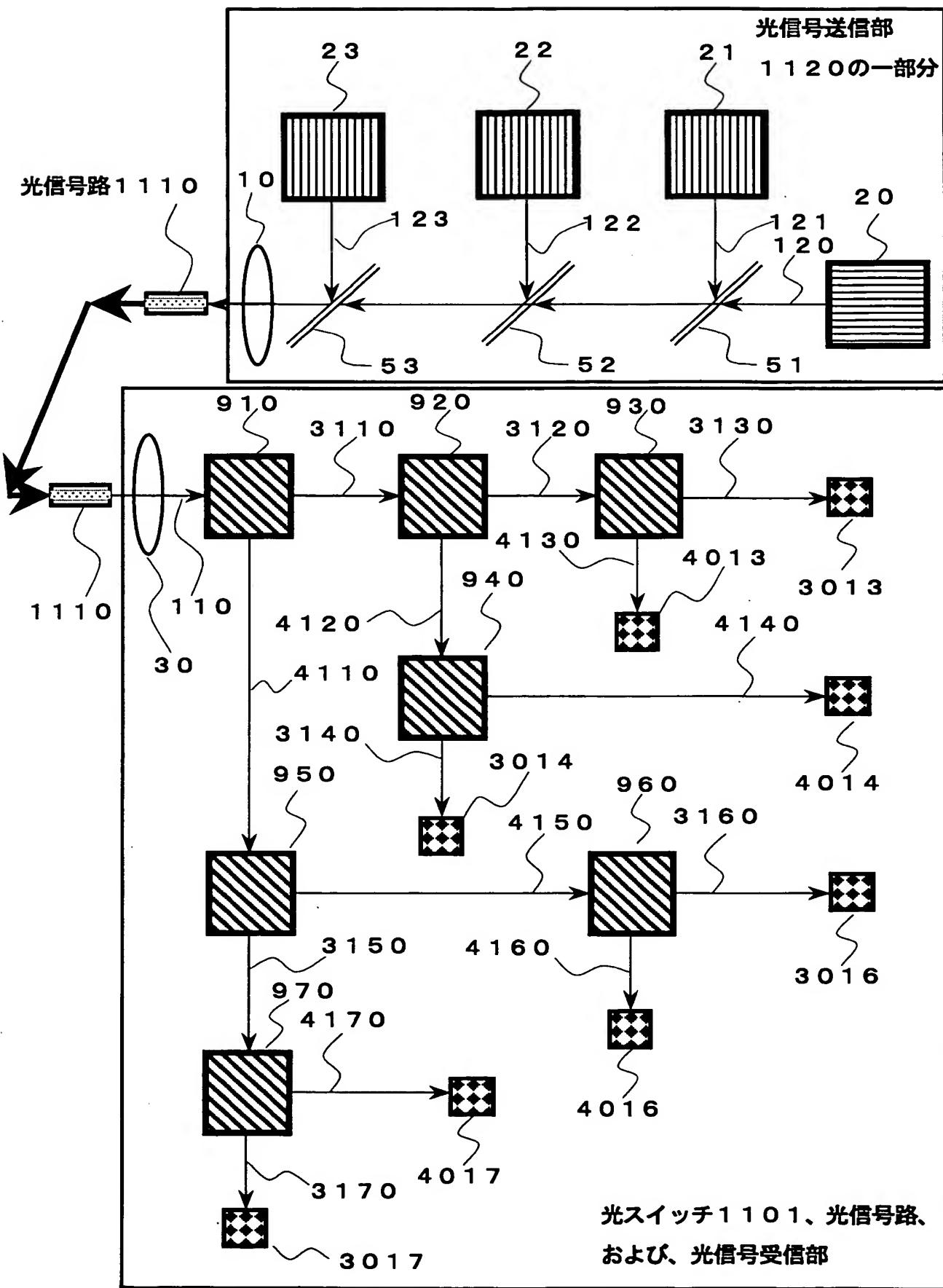
【図8】



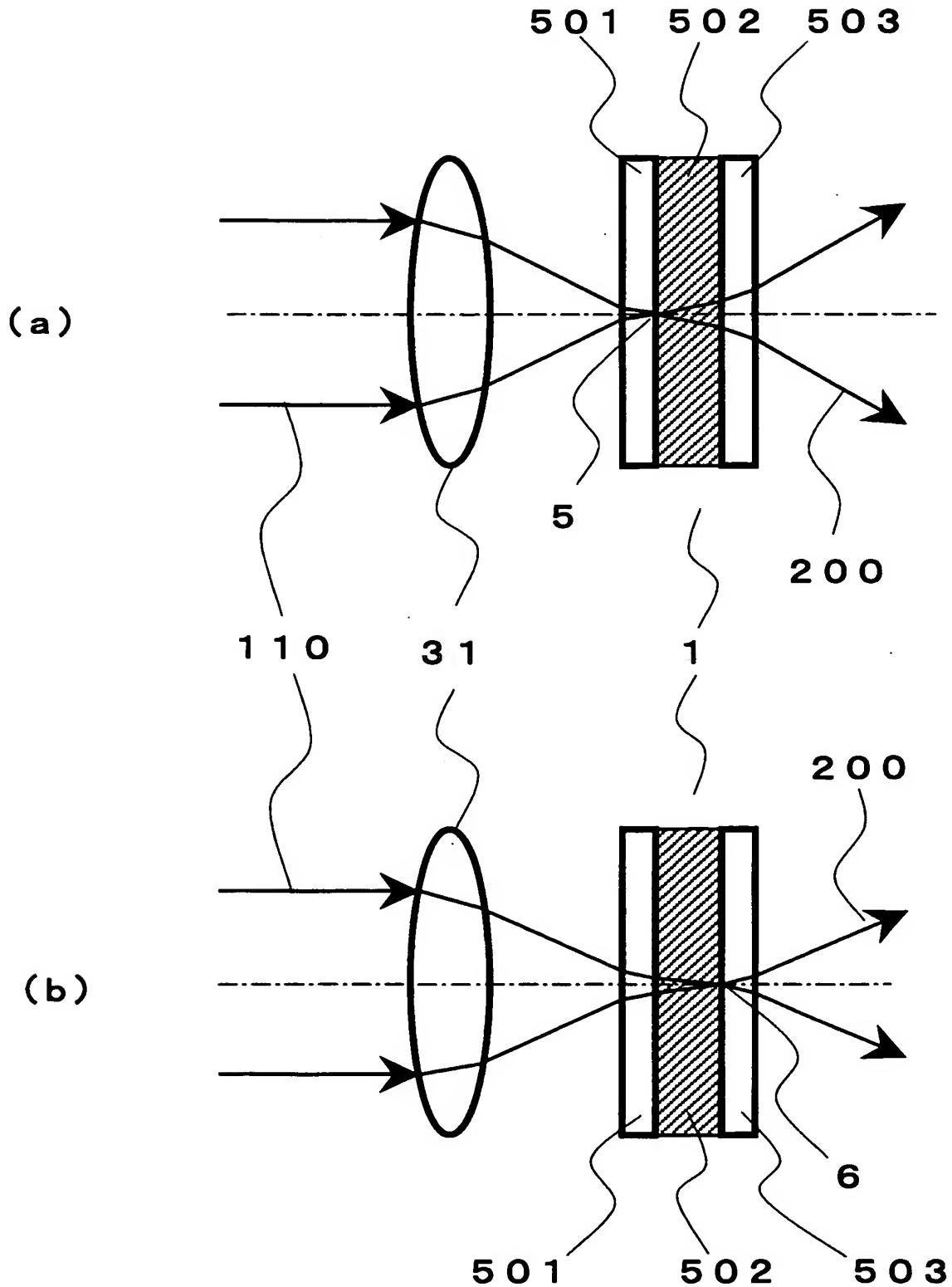
【図9】



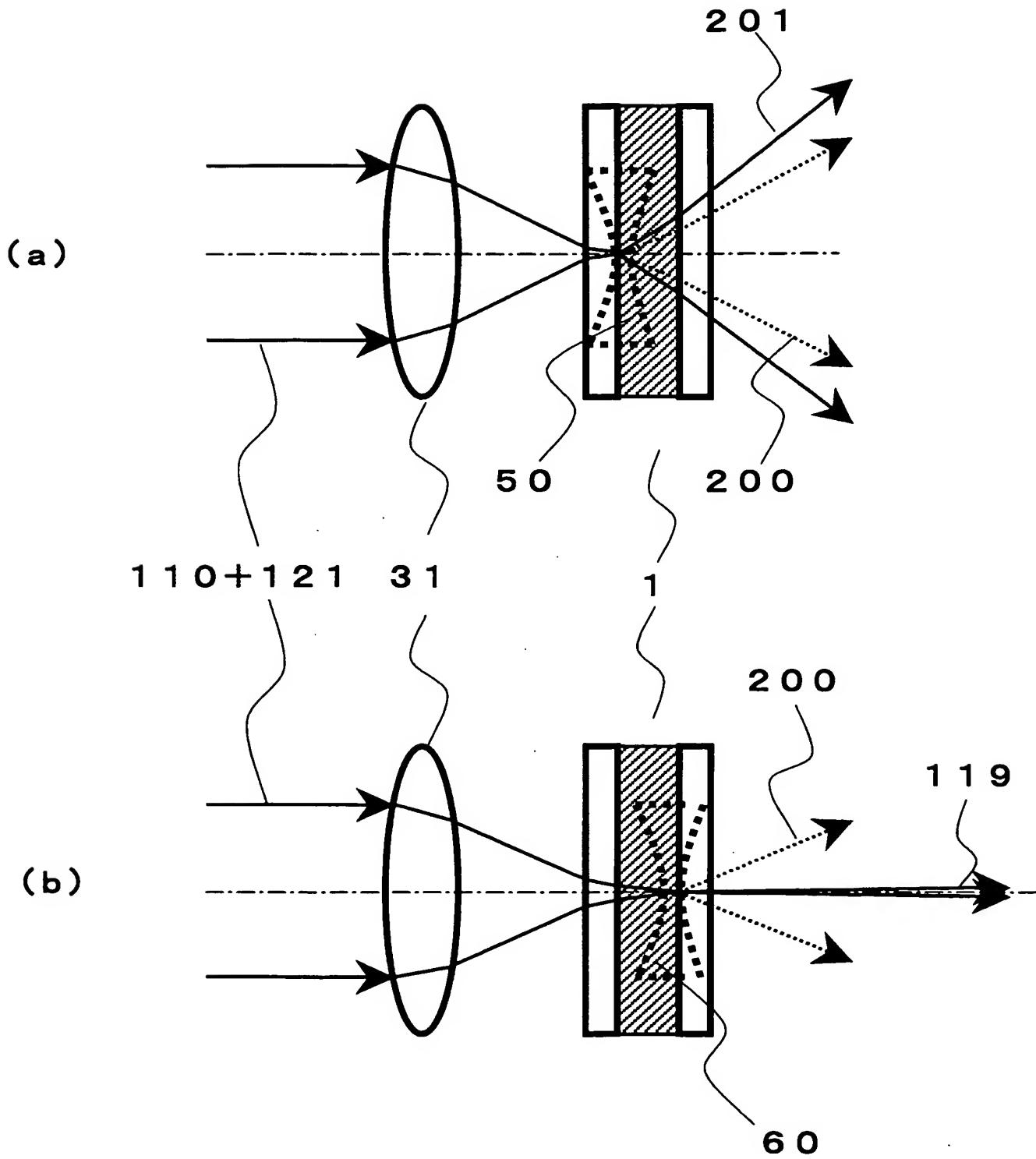
【図10】



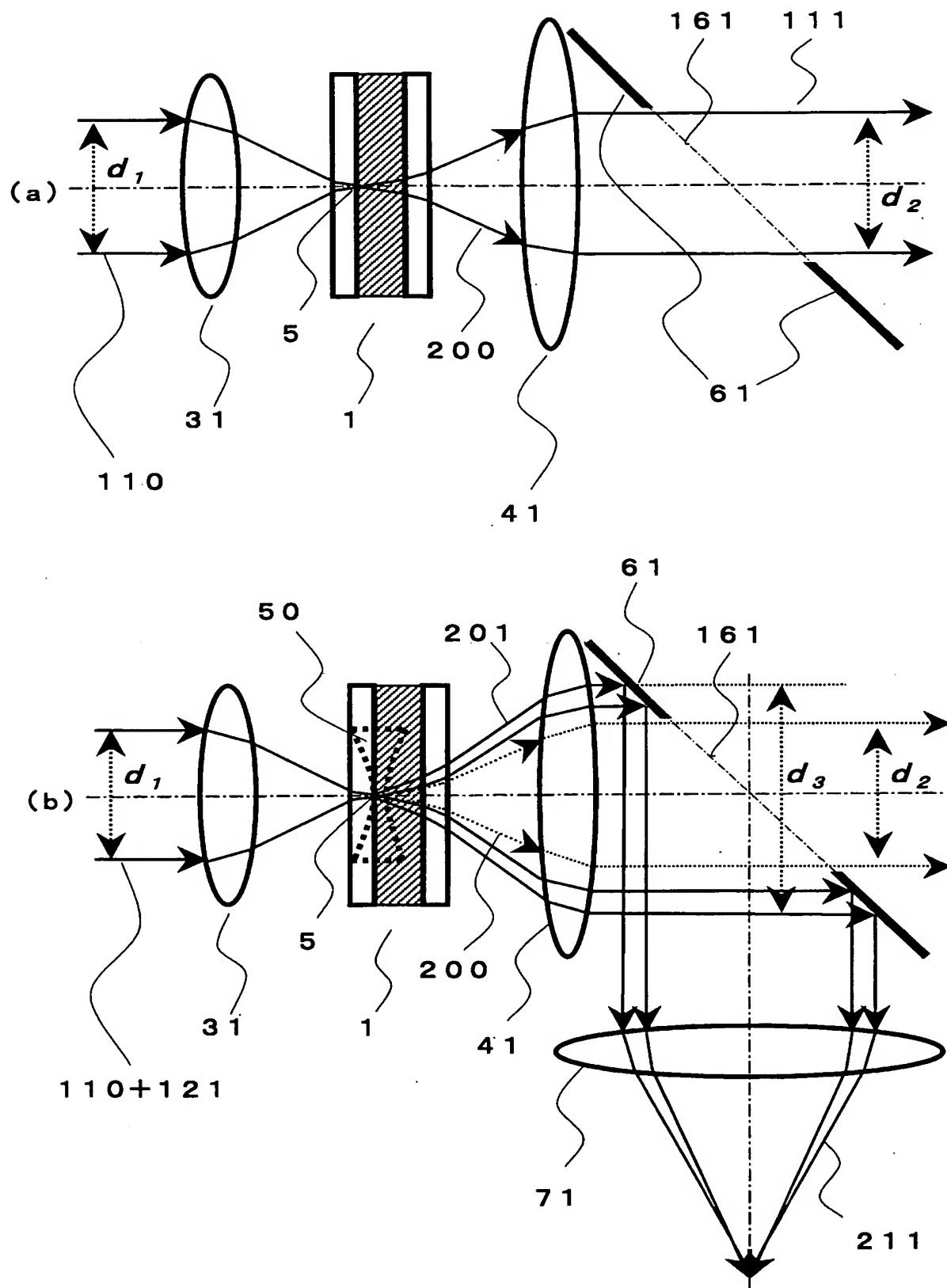
【図11】



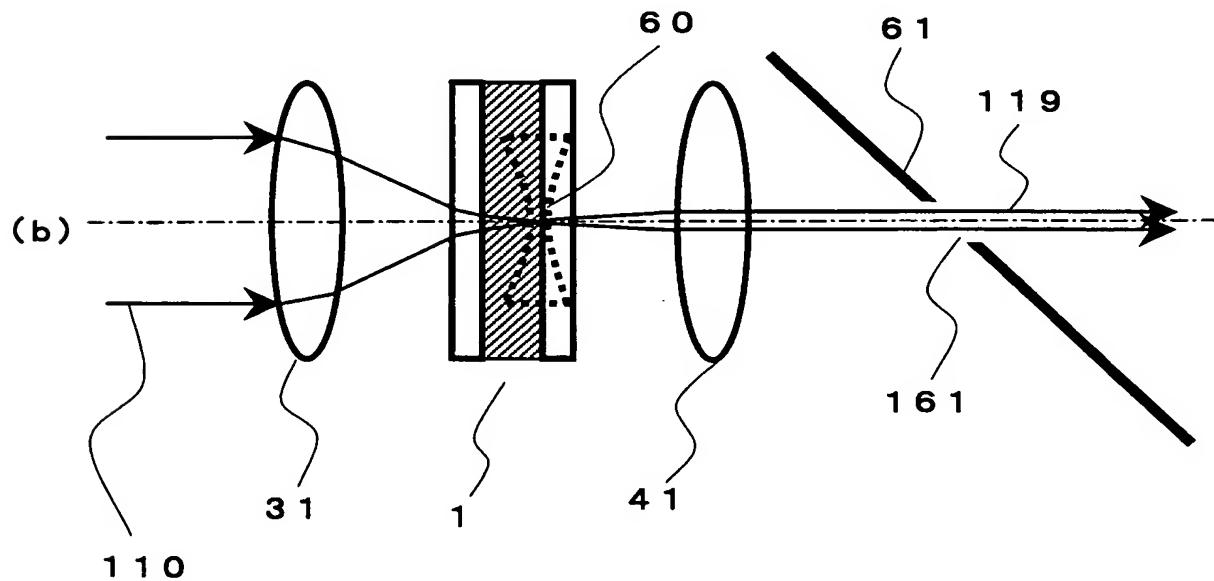
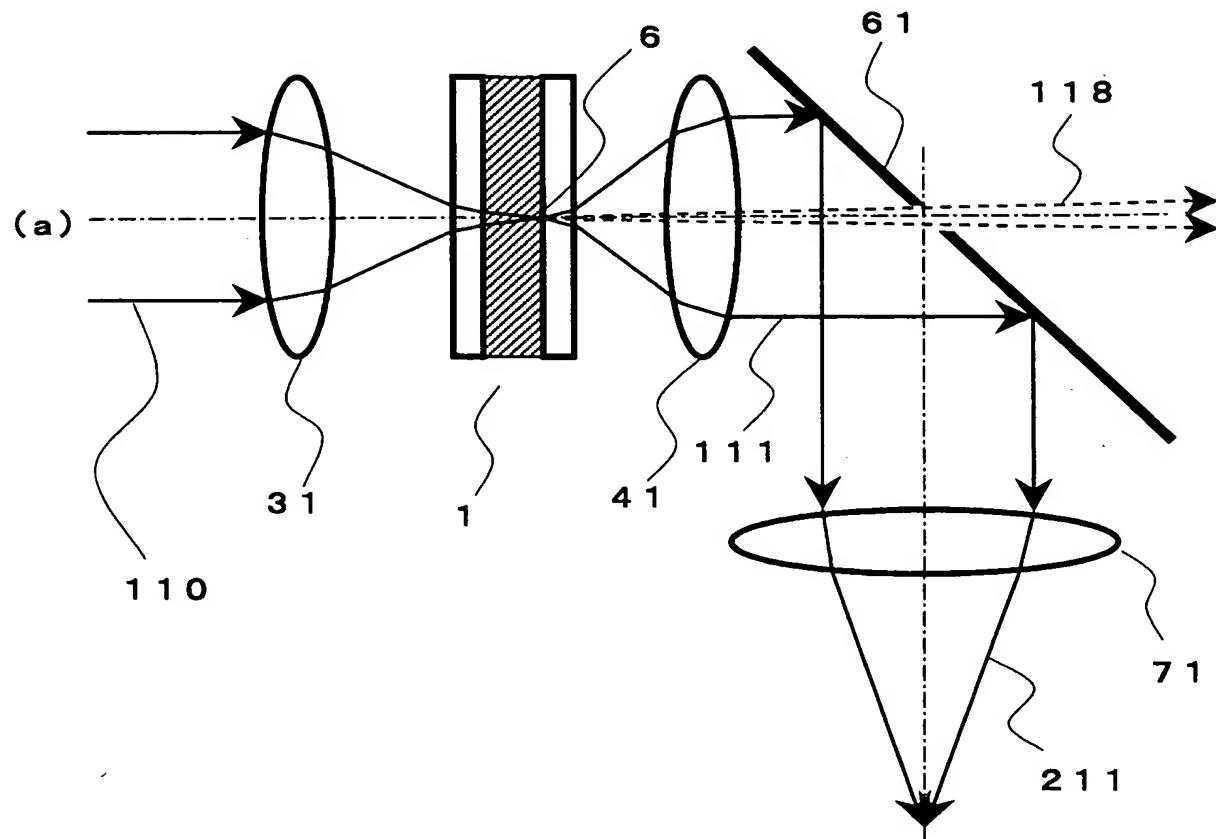
【図12】



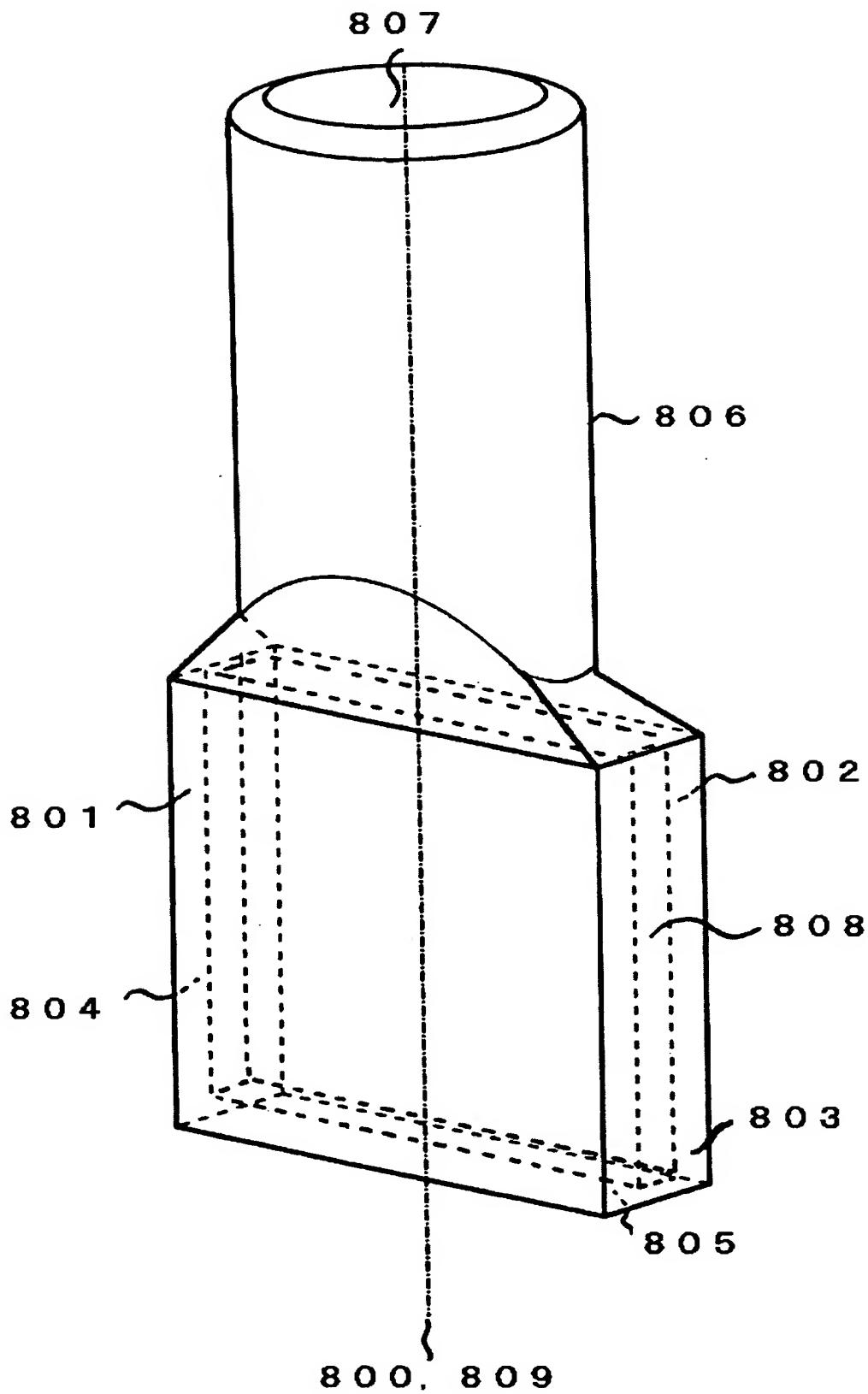
【図13】



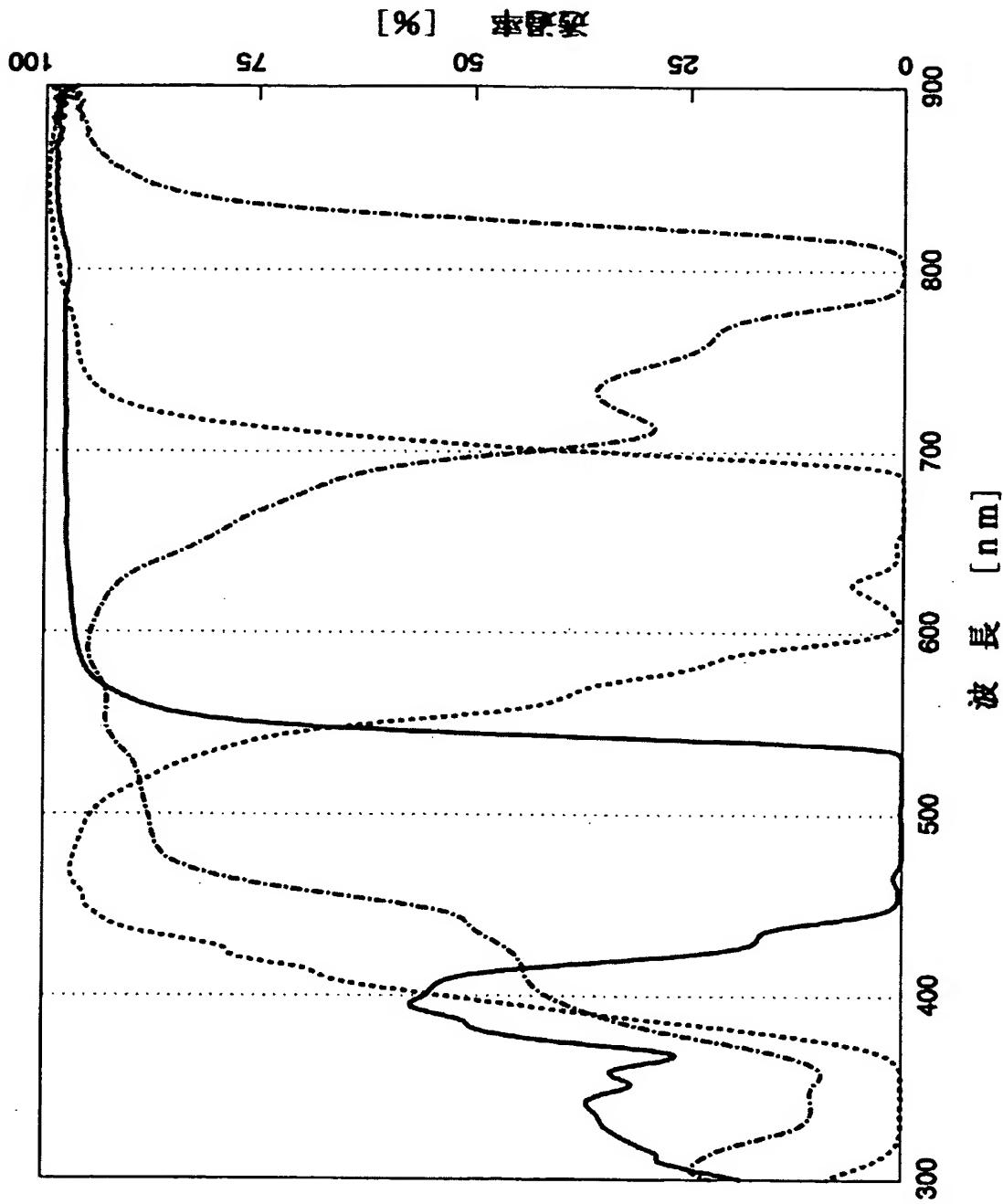
【図14】



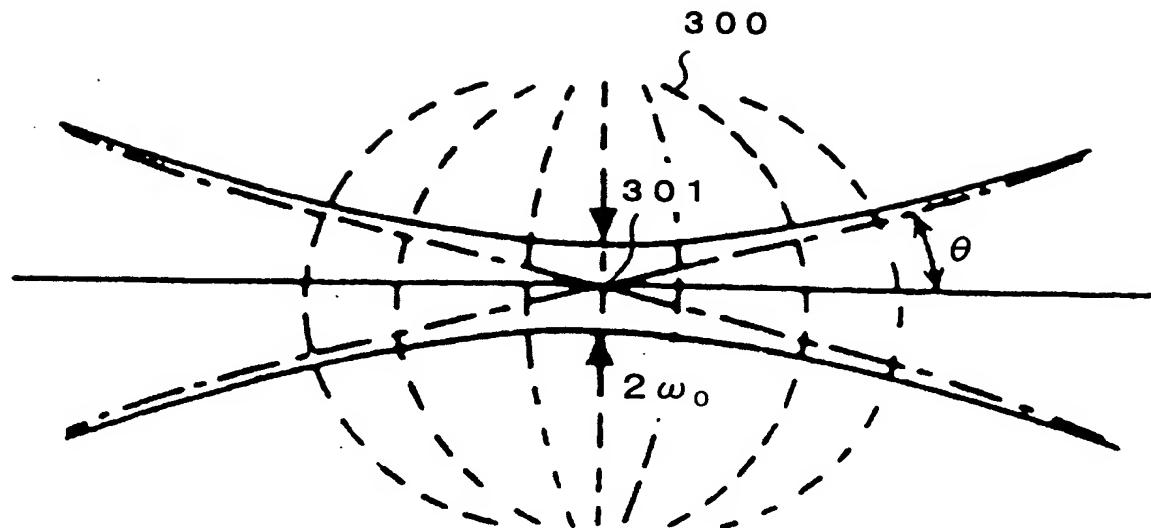
【図15】



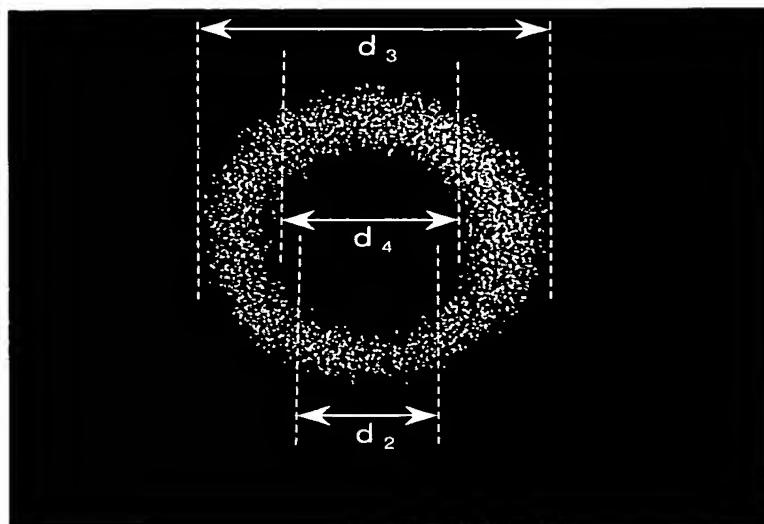
【図16】



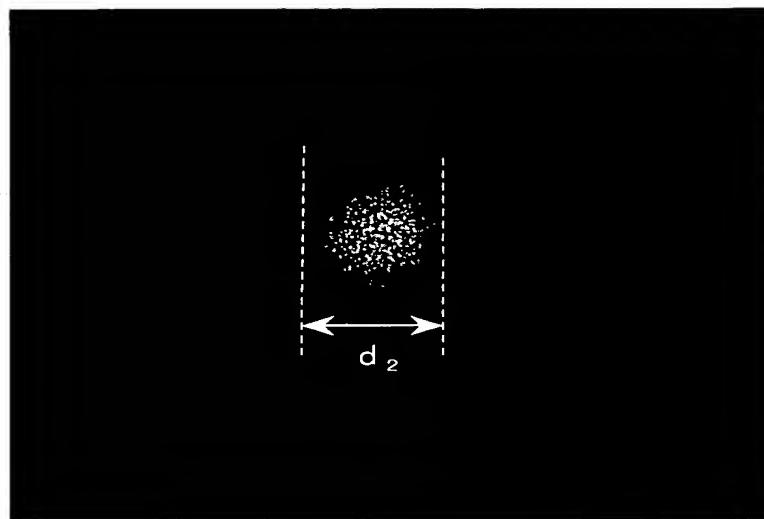
【図 17】



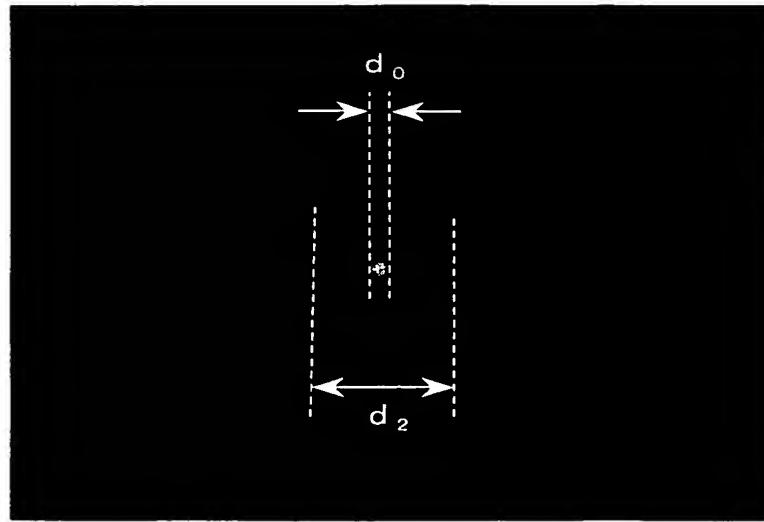
【図18】



(a)

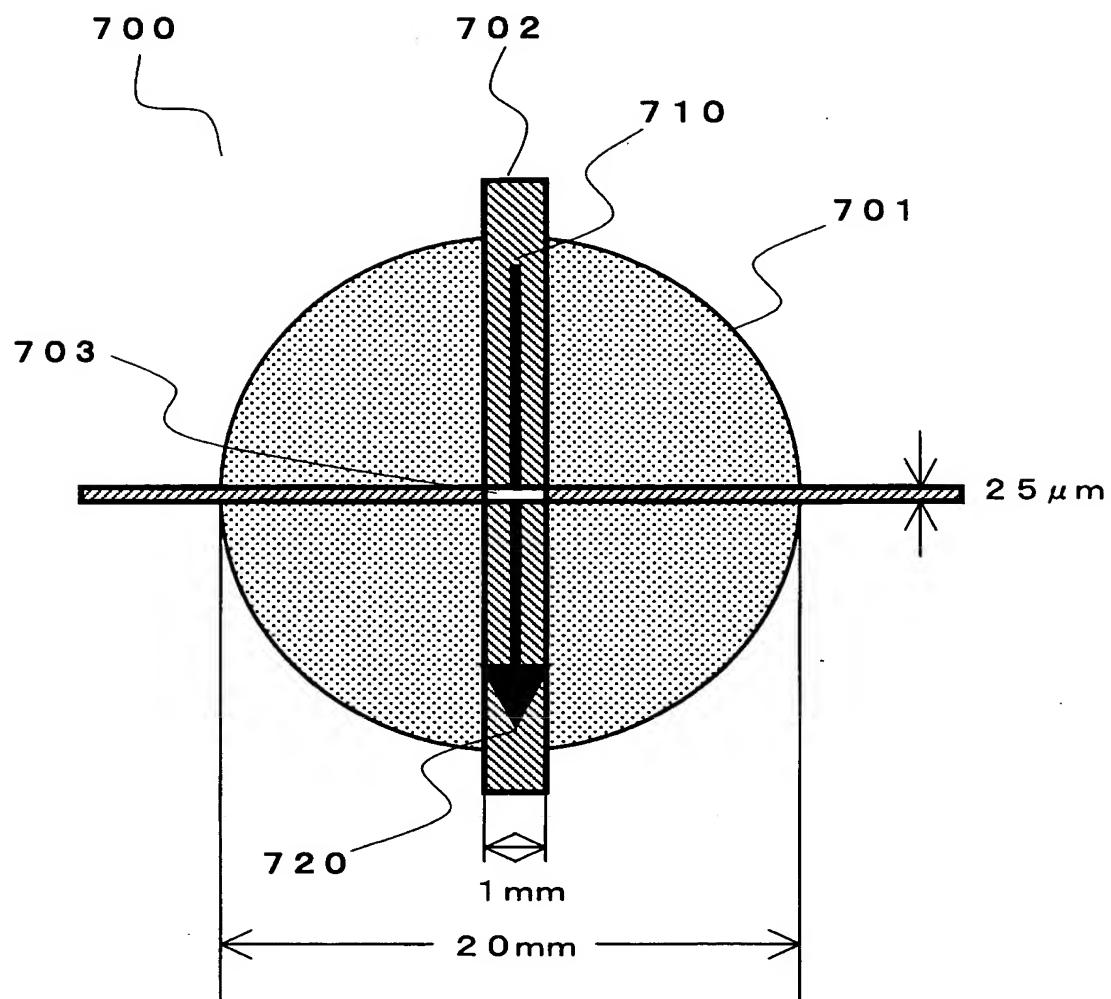


(b)

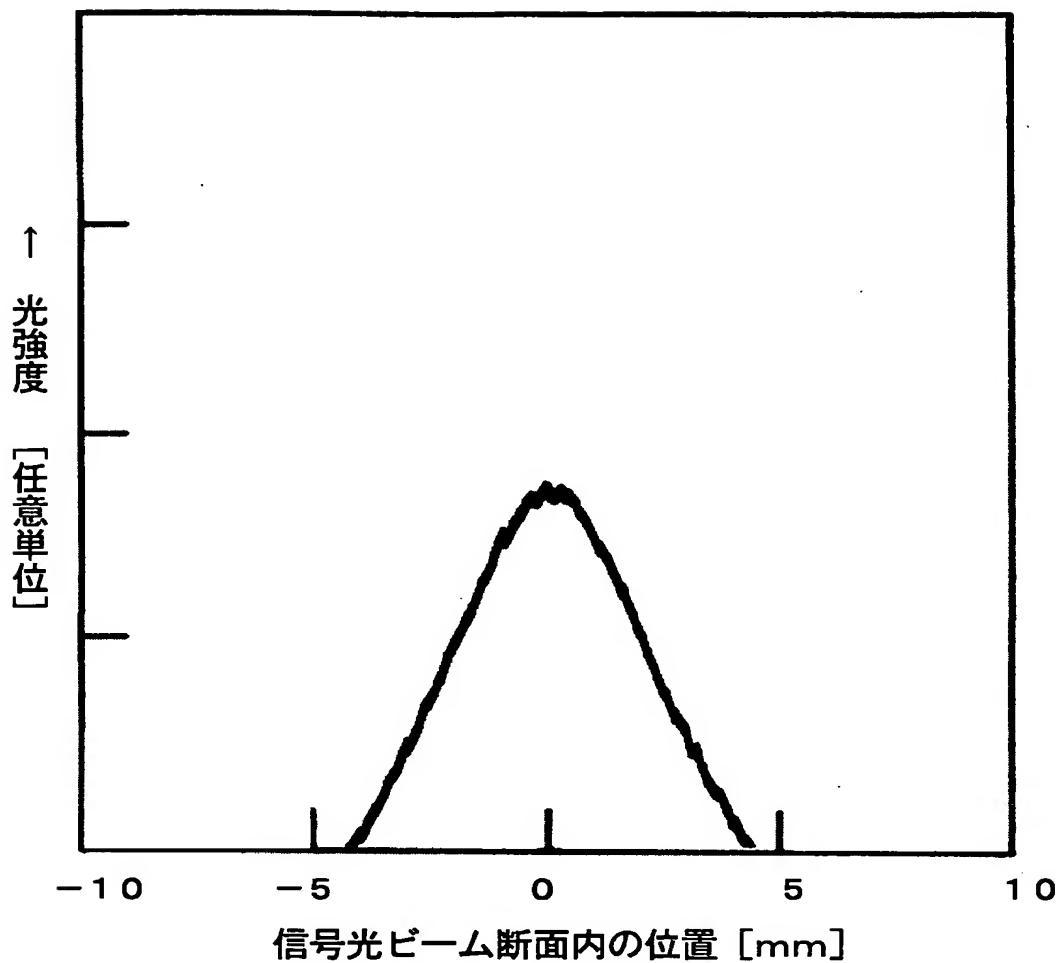


(c)

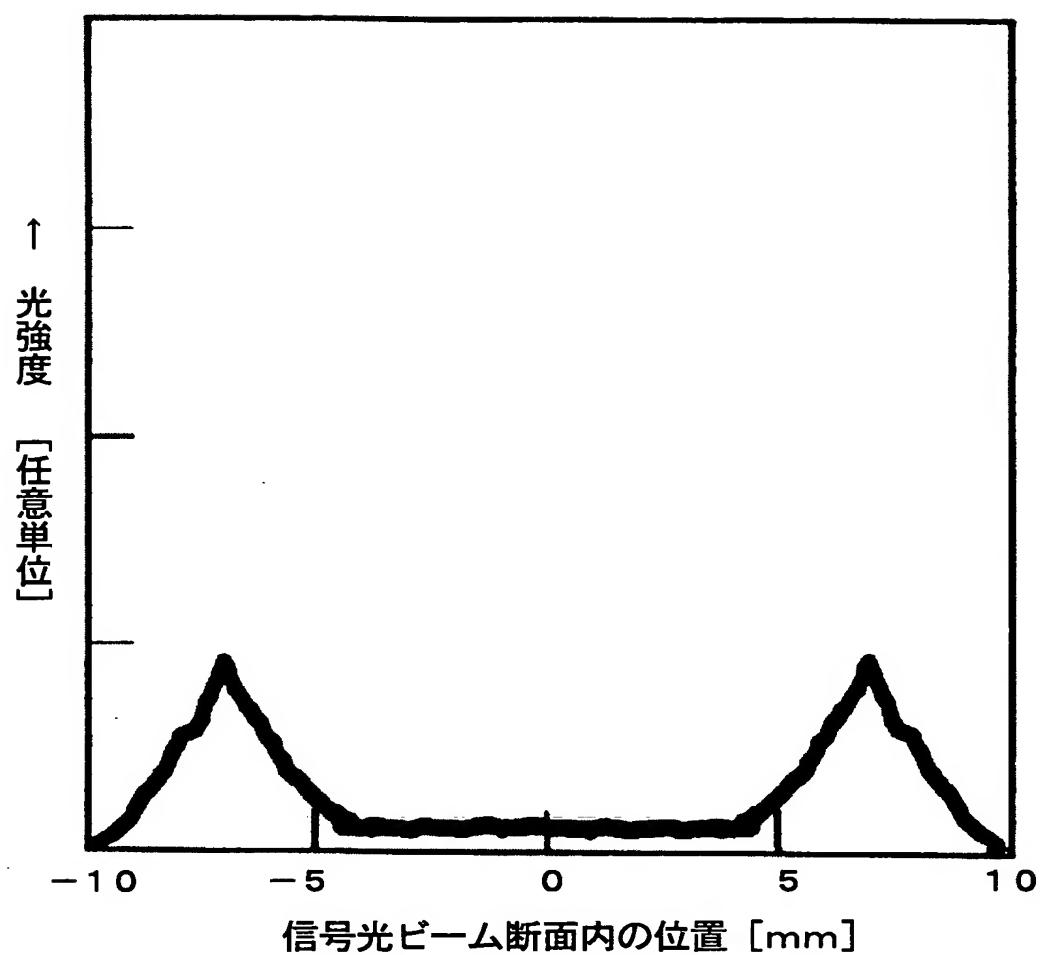
【図19】



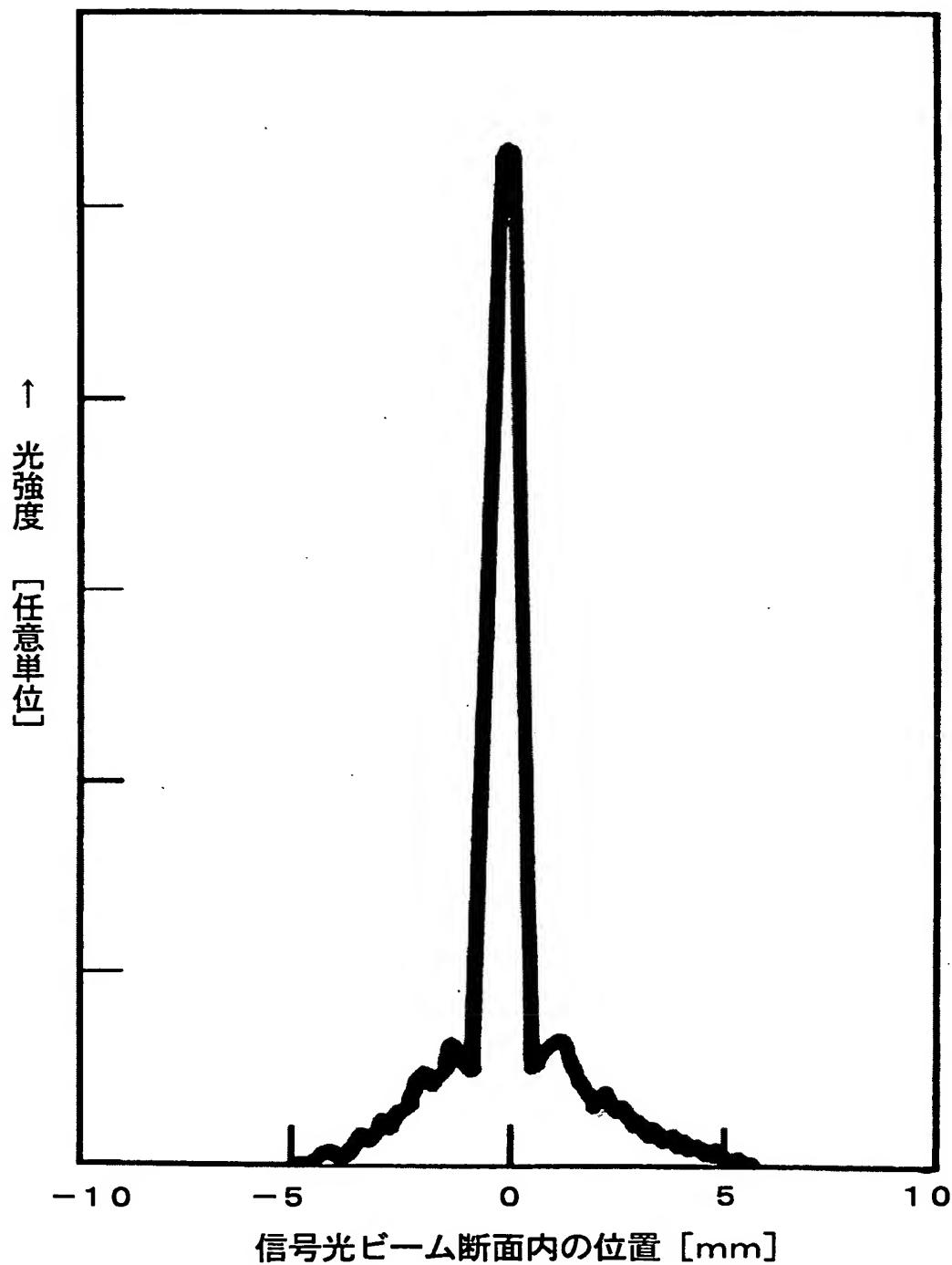
【図20】



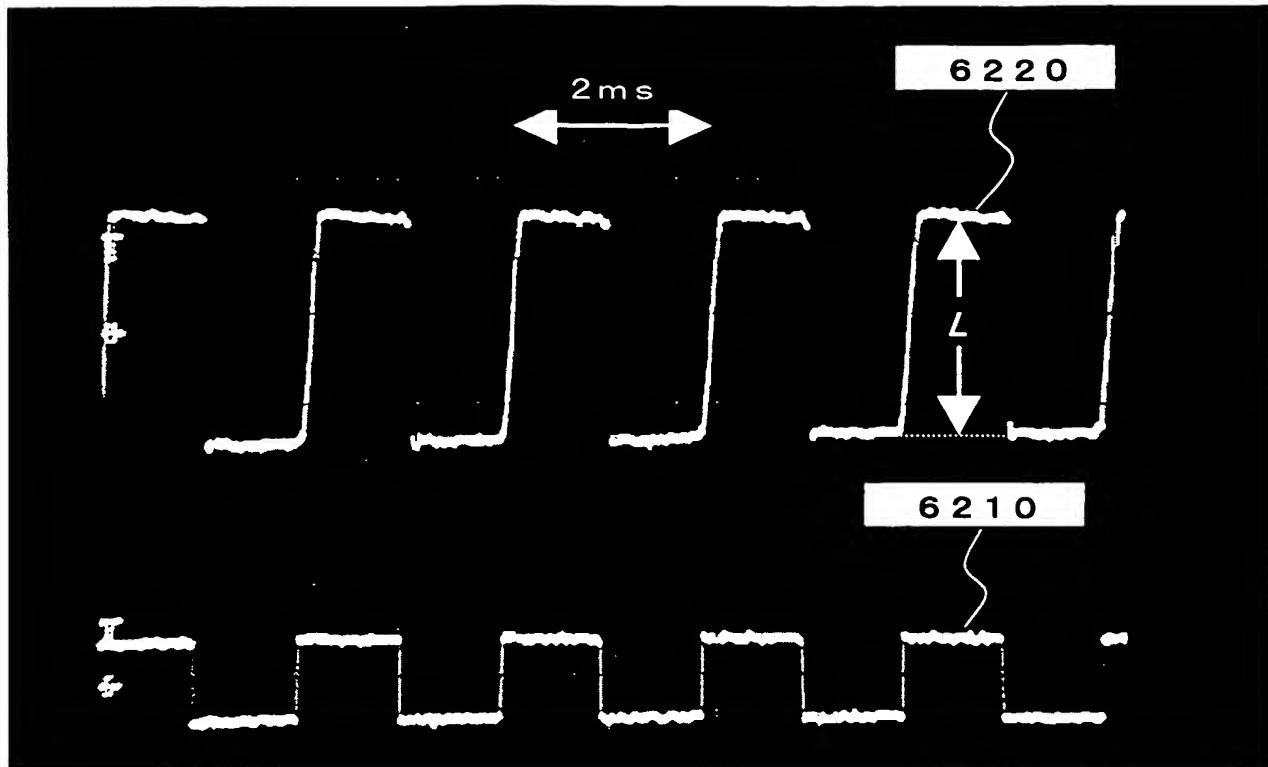
【図21】



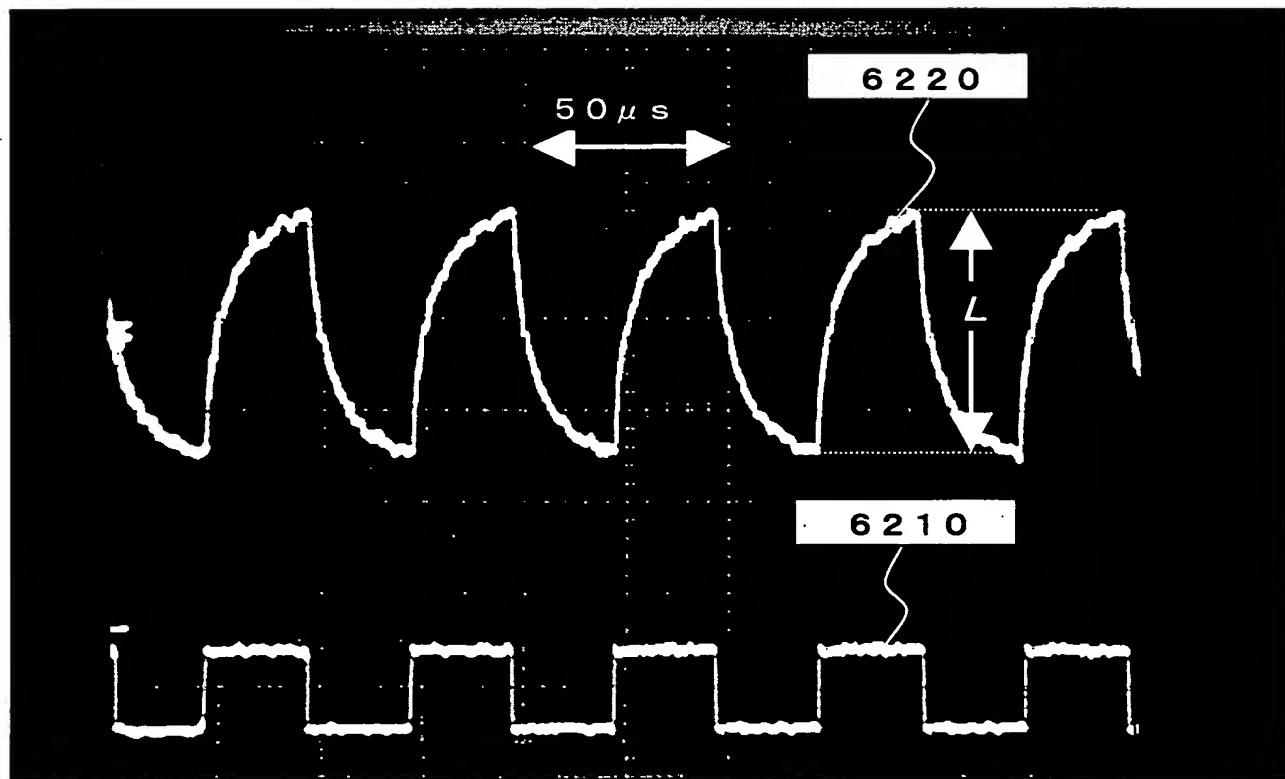
【図22】



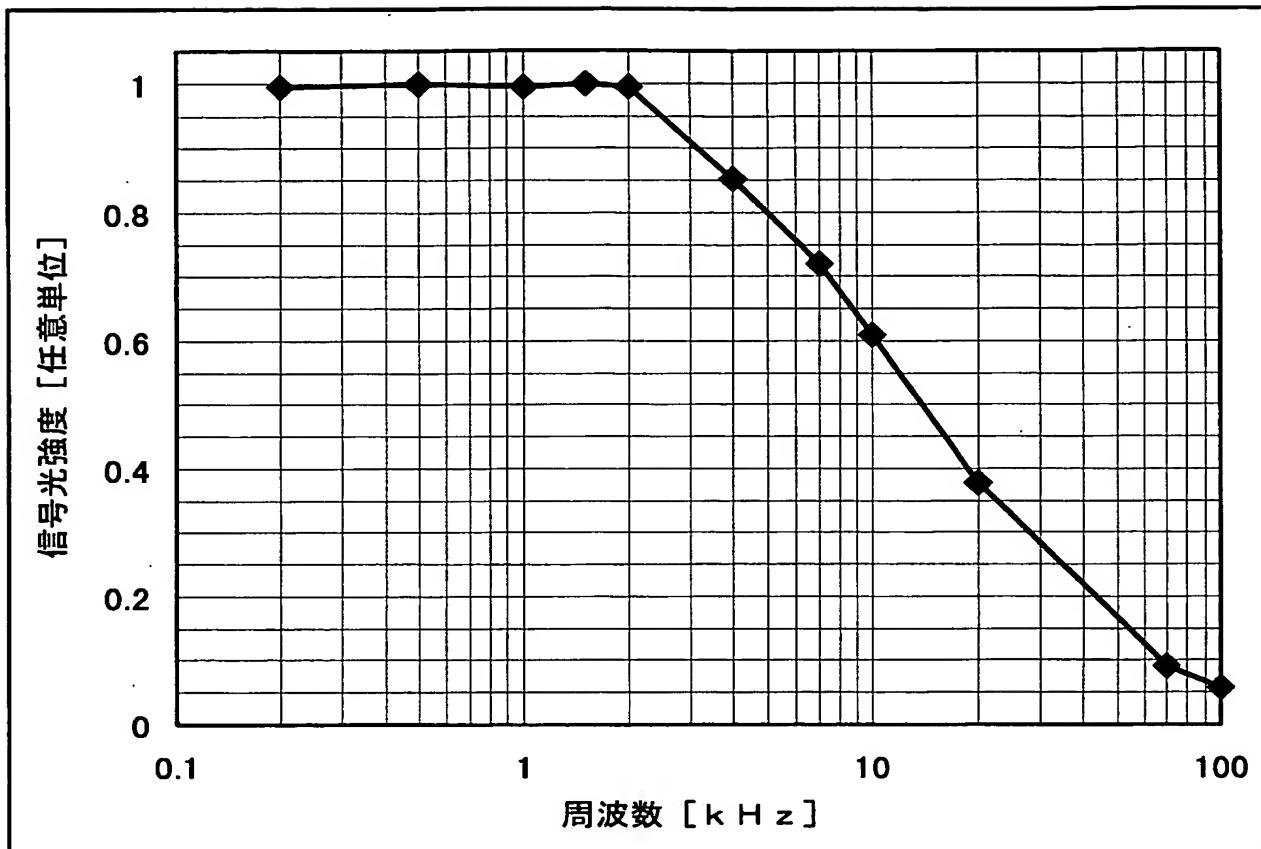
【図23】



【図24】



【図25】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】光パケット通信方式に係る光制御式光路切替型データ配信装置および配信方法を提供する。

【解決手段】複数のクライアント装置の中から選択された1つ以上の特定のクライアント装置にデータサーバー装置からデータを提供するデータ配信装置であって、少なくともデータサーバー装置、データ通信部、および、クライアント装置からなり、前記データ通信部は、少なくとも、光スイッチ、光信号路、光信号送信部、光信号受信部、および、データ送受信制御部からなり、前記光信号送信部は、少なくとも1種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、前記データ送受信制御部からの制御信号に応じて、前記信号光とは異なる1種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源とを有し、前記光スイッチは、少なくとも前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する1つ以上の光吸収層膜と、前記光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起る温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射する、信号光の開き角度を拡大させて出射する、または、通常の開き角で出射する1つ以上の熱レンズ形成素子と、前記各熱レンズ形成素子の各々後方に設けられた、穴と反射手段とを有する鏡であって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子を出射した信号光を前記穴に通過させ、または、前記反射手段により反射させることによって光路を変化させる鏡と、を備える。

【選択図】図1

特願 2004-074874

出願人履歴情報

識別番号

[000002820]

1. 変更年月日

[変更理由]

住 所

氏 名

1990年 8月22日

新規登録

東京都中央区日本橋馬喰町1丁目7番6号

大日精化工業株式会社

特願 2004-074874

出願人履歴情報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日

2001年 4月 2日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関 1-3-1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所



DECLARATION FOR TRANSLATION

I, Jun ISHIDA, a Patent Attorney, of 1-34-12 Kichijoji-Honcho, Musashino-shi, Tokyo, Japan, do solemnly and sincerely declare that I well understand the Japanese and English languages and that the attached English version is a full, true and faithful translation made by me

this 25th day of February, 2010

of the Japanese priority document of

Japanese Patent Application No. 2004-074874

entitled "OPTICALLY CONTROLLED OPTICAL-PATH-SWITCHING-TYPE DATA DISTRIBUTION APPARATUS AND DISTRIBUTION METHOD"

In testimony thereof, I have herein set my name and seal

this 25th day of February, 2010

  
Jun ISHIDA  
Patent Attorney



[Name of Documents]

APPLICATION FOR PATENT

[Identification No. of Documents] 7X1-0041

[Filing Date]

March 16, 2004

[Addressee]

Esq. Commissioner of the Patent Office

[IPC]

G02B 26/08

G02B 6/32

H01S 3/101

[Inventor]

[Address]

c/o DAINICHISEIKA COLOR & CHEMICALS  
MFG. CO., LTD.  
7-6, Nihonbashi-Bakurocho 1chome,  
Chuo-ku, Tokyo 103-8383 Japan

[Name]

Norio TANAKA

[Inventor]

[Address]

5-5, Takamori 3-chome, Isehara-shi,  
Kanagawa 259-1114 Japan

[Name]

Ichiro UENO

[Inventor]

[Address]

c/o NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED  
INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY,  
Kansai, 8-31, Midorigaoka 1-chome,  
Ikeda-shi, Osaka 563-8577 Japan

[Name]

Takashi HIRAGA

[Inventor]

[Address]

c/o NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED  
INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY,  
Kansai, 8-31, Midorigaoka 1-chome,  
Ikeda-shi, Osaka 563-8577 Japan

[Name]

Nobutaka TANIGAKI

[Inventor]

[Address]

c/o NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED

INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY,  
Kansai, 8-31, Midorigaoka 1-chome,  
Ikeda-shi, Osaka 563-8577 Japan  
Toshiko MIZOKURO

[Name]

[Inventor]

[Address]

c/o NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED  
INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY,  
Kansai, 8-31, Midorigaoka 1-chome,  
Ikeda-shi, Osaka 563-8577 Japan  
Noritaka YAMAMOTO

[Name]

[Inventor]

[Address]

c/o NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED  
INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY,  
Kansai, 8-31, Midorigaoka 1-chome,  
Ikeda-shi, Osaka 563-8577 Japan  
Hiroyuki MOCHIZUKI

[Applicant]

[Equity] 50/100

[Identification No. of Applicant] 000002820

[Name] DAINICHISEIKA COLOR & CHEMICALS  
MFG. CO., LTD.

[Applicant]

[Equity] 50/100

[Identification No. of Applicant] 301021533

[Name] NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED  
INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

[Attorney]

[Identification No. of Attorney] 100075258

[Patent Attorney]

[Name] Kenji YOSHIDA

[Designated Attorney]

[Identification No. of Attorney] 100096976

[Patent Attorney]

[Name] Jun ISHIDA

[Ratio of Equity] 50/100

[Official Fee]

[Registered No. for Payment] 001753

[Amount] 10,500

[List of Filing Papers]

[Name of Item]	Claims	1
[Name of Item]	Specification	1
[Name of Item]	Drawings	1
[Name of Item]	Abstract	1



[Name of the Document] Claims

[Claim 1]

An optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus for providing data from a data server device 5 to one or more specific client devices selected from a plurality of client devices, comprising:

a data server device, a data communication unit and a client device, wherein:

the data communication unit comprises:

10 an optical switch, an optical signal path, an optical signal transmitting unit, an optical signal receiving unit, and data transmission/receipt control unit;

15 the optical signal transmitting unit comprising a signal light beam light source for irradiating a signal light beam having one or more wavelengths, and a control light beam light source for irradiating a control light beam having one or more wavelengths that are different from those of the signal light beam;

the optical switch comprising:

20 one or more light absorbing layer films for transmitting the signal light beam and selectively absorbing respectively only one specific wavelength of the control light beams,

means for respectively converging and irradiating the control light beam and the signal light beam to each of the light absorbing layer films,

25 one or more thermal lens forming devices for causing the converged signal light beam to exit while maintaining beam convergence or for varying the angle of divergence of the signal light beam and for causing the signal beam to exit, in response to the presence or absence of irradiation of the one specific wavelength of the control light beam, by using a thermal lens containing the light absorbing layer films and based on a distribution 30 of refractive index produced reversibly caused by temperature increase generated in an area of the light absorbing layer film that has absorbed the one specific wavelength of the control light

beam and in the periphery thereof, and

one or more mirrors, each provided after one of the thermal lens forming devices and having a hole and reflecting means, for passing the signal light beam exiting the thermal lens forming devices 5 through the hole or deflecting the optical path of the signal light beam by reflecting the signal light beam by the reflecting means in response to the presence or absence of irradiation of the one specific wavelength of the control light beam.

[Claim 2]

10 An optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of claim 1, wherein

the data communication unit irradiates and transmits an arbitrary size of digital information that has been split into optical packets, each containing a fixed length or variable length optical 15 digital signals as the signal light beam, and

actuates the optical switch by irradiating an optical tag representing the identification information of a destination client device to each of the optical packets as the control light beam in synchronization with the irradiation of the optical packets.

20 [Claim 3]

An optically controlled optical-path-switching-type data distribution method comprising:

25 causing a signal light beam of one or more wavelengths carrying data converted to an optical signal, and a control light beam that is irradiated from a control light beam light source in response to a data transporting destination and has one or more wavelengths that are different from those of the signal light beam to travel substantially coaxial and in the same direction;

30 converging and irradiating respectively the control light beam and the signal light beam to each of one or more light absorbing layer films that transmit the signal light beam and that absorb selectively only one specific wavelength of the control light beam;

at each of one or more thermal lens forming devices each containing one or more of the light absorbing layer films, by using

a thermal lens based on a distribution of refractive index produced reversibly caused by temperature increase generated in an area of the light absorbing layer film that has absorbed the one specific wavelength of the control light beam and in the periphery thereof and in response to the presence or absence of irradiation of the control light beam having the one specific wavelength, causing the converged signal light beam to exit maintaining the beam converged or to exit with the angle larger than the normal divergence angle or the normal divergence angle thereof;

10 using a hole-provided mirror having a reflecting surface, in response to the presence or absence of irradiation of the control light beam of the one specific wavelength, causing the signal light beam exited from the thermal lens forming device to travel straight through the hole or changing the optical paths thereof by reflecting 15 the signal light beam at the reflecting surface;

distributing data from a data server device to one or more specific client devices selected among a plurality of client devices.

[Claim 4]

An optically controlled optical-path-switching-type data 20 distribution method of claim 3, wherein

the signal light beam transports packets containing digital information of an arbitrary size that has been split into a pack of fixed length or of variable length digital signals as optical packets;

25 the control light beam is irradiated in synchronization with the irradiation of the optical packets as the optical tag representing the identification information on a destination client device for each optical packet, to effect changes in the optical paths of the optical packets.

30 [Claim 5]

An optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of claim 1, wherein

the data server device distributes digital static image data or moving image data to one or more specific client devices selected

among a plurality of client devices.

[Claim 6]

An optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of claim 1, wherein

5 the data server device distributes digital static image data or moving image data for medical use to one or more specific client devices selected among a plurality of client devices.

[Name of the Document] Specification

[Title of the Invention] OPTICALLY CONTROLLED

OPTICAL-PATH-SWITCHING-TYPE DATA DISTRIBUTION APPARATUS AND  
DISTRIBUTION METHOD

5 [Field of the Invention]

[0001]

The present invention relates to an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus and distribution method. More specifically, the present invention 10 relates to an optically controlled optical path switching type data distribution apparatus and distribution method using an optical packet communication system to distribute a large volume of digital data such as high definition image data, high definition moving image data, etc. from a server to a specific client among a plurality 15 of clients in an office of a company, a plant, a hospital, an ordinary home, etc.

[Background Art]

[0002]

Due to the dramatic progress of personal computers and their 20 peripheral equipment, an almost inconceivably large volume of digital data including digitized and recorded high-definition static and moving images is transmitted every day. For example, when a conventional color television program is digitized and recorded on a hard disk type storage unit in a personal computer or on an 25 optical recording medium such as a DVD at home, a large volume of digital data with several gigabytes of data per one airtime hour is handled. Furthermore, with the advancement and improvement of diagonal medical instruments, super high-definition static images and digital high-vision images represented by 1600 x 1200 pixels 30 or more are used, for example, to detect a cancer in early stages. An example is that a cancerous growth as small as 1 mm, or even smaller, in an early stage can be detected by rendering a three dimensional image by combining 1000 sliced images of a human body, each image having 1600 x 1200 pixels, on a display.

[0003]

Recently, because the capacity of typical hard disk type storage units has increased, the recording of such high definition static images and moving images is not highly problematic. However, 5 quick transfer or transmission of an image data to a remote site (another room within a hospital, a classroom in a university hospital and another site for remote treatment) still requires several minutes to several tens of minutes, even when using a high speed LAN capable of communication at 1 gigabit per second. Therefore, transfer of 10 such a large volume of digital data to an optical recording medium such as DVD first has been practiced, however, a significant time is required to record the data and to physically transport the recording medium. However, as medical use requires electromagnetic compatibility, it is desirable that a large volume of digital data 15 can be transmitted in the form of optical signals from a transmitting device provided with an electromagnetic shield to a receiving device also provided with an electromagnetic, without employing any electric signals during the transmission path. Such a configuration would be preferable in order to minimize generation of 20 electromagnetic waves associated with transmission and reception of the high speed digital data, as well as switching of transmission paths, and further to eliminate interference from electromagnetic waves originating from external sources.

[0004]

25 Currently, mass-produced optical transceivers having a data communication speed on the order of 10 to 40 Gbps per second are available and are successfully operated in data distribution devices in which their data transmitting and receiving sides are connected via optical fiber. In the field of data delivery using optical 30 signals, the most strongly desired technological development is an optical path switching unit (optical switch), or light-to-light direct switching unit that does not employ an electric signal for use in high speed distribution of data from a data distribution device (server) to specific client devices.

[0005]

Known apparatuses and methods for switching the path of light traveling through space (optical paths) include, for example, a space division type that switches optical paths in an optical 5 waveguide or between optical waveguides, a wavelength division multiplexing type that switches a multiplexed light beam having a plurality of wavelengths by dividing the light beam for optical paths according to the wavelength, a time division multiplexing type that switches optical paths of light beams that is 10 time-division-multiplexed at an constant time interval and a free space type that divides and couples spatially optical paths of light beams propagating through space using a mirror or a shutter. Each of these schemes can be multiplexed or a plurality of different schemes can be used in combination.

15 [0006]

Proposed space-division-type optical switches include those that utilize a directional coupler, those that create a copy of an optical signal using an optical dropper and switch a light beam between ON and OFF using a gate device, those that transmit or reflect 20 a light beam propagating a waveguide by varying the refractive index of the waveguide at a crossing portion of an intersection or a Y-shaped branching point, and others. However, all of these remain in the stage of research and development. Apparatuses employing a thermo-optical effect created by using an electric heater to vary 25 the refractive index of a waveguide of a Mach-Zehnder-interferometer-type optical waveguide switch are approaching practical application, but such apparatuses are disadvantageous in that this type of apparatus has a low response speed, of approximately 1 millisecond, and also requires an electric 30 signal to operate the optical switch.

[0007]

Meanwhile, available free-space-type optical switches include a micro-electro mechanical system (abbreviated to MEMS), an exciton absorption reflection switch (abbreviated to EARS), a

multi-stage-beam-deflector-type optical switch, a hologram-type switch, a liquid crystal switch, and others. However, these switches cannot be said to be sufficiently developed for practical use because they have assignments such as that they have mechanically movable portions; they are dependent on polarized electromagnetic radiation, and other factors.

[0008]

On the other hand, there is active study of total-light-type optical devices or optical control methods that modulate the intensity or the frequency of a light beam directly by utilizing variation of the transmittance or the refractive index caused when an optical device is irradiated with light. The inventors of the invention described in the present application are continuing an ongoing study of an optical control method aimed at development of a new information processing technique with a total-light-type optical device, etc. using an organic nanoparticle thermo-optical lens forming device formed by dispersing organic pigment aggregate in a polymer matrix (see Non-Patent Document 1). Currently, a device employing a scheme that modulates a signal light beam (780nm) by a control light beam (633nm), having a characteristic that the control light beam and the signal light beam are coaxial and have incidence of the same focal point, and based on an operational principle that the signal light beam is refracted by a thermal lens formed transiently by absorption of the control light beam, is being developed and a high-speed response of approximately 20 nanoseconds has been achieved. There has been disclosed an optical control method of carrying out intensity modulation and/or light flux density modulation of a signal light beam transmitted through an optical device by reversibly varying the transmittance and/or the refractive index of the signal light beam in a different wavelength band from that of the control light beam by irradiating the optical device comprising optically responsive composition, with the control light beam, wherein the control light beam and the signal light beam are converged and irradiated on the optical device, and the optical

paths of the control light beam and the signal light beam are adjusted such that an area having the highest photon density in the vicinity of a focus (beam waist) of each of the control light beam and the signal light beam are overlapped on each other in the optical device 5 (see Patent Documents 1-7). Furthermore, there has also been disclosed an optical control method of carrying out intensity modulation and/or light flux density modulation of a signal light beam transmitting a thermal lens by reversibly forming the thermal lens based on the distribution of density variation caused by a 10 temperature increase generated in an area of the photo-responsive composition, that has absorbed the control light beam and the surrounding area thereof, wherein a control light beam and the signal light beam having a wavelength different from each other are irradiated on an optical device comprising photo-responsive 15 composition, the wavelength of the control light beam is selected from a wavelength band that the photo-responsive composition absorbs (see Patent Document 8). Yet further, it is described that a pigment/resin film or a pigment solution film is, for example, used as the optical device and a response time of the signal light beam 20 against the irradiated control light beam for the case where the control light beam has a power of 2 to 25mW is shorter than 2 $\mu$ sec (see Patent Document 8).

[0009]

Here, the thermal lens effect is a refractive effect in which 25 molecules, etc. that have absorbed light in the central area of light absorption convert the light into heat, a temperature distribution is created by propagation of this heat to the surrounding area, and, as a result, the refractive index of an optical transmitting matter is varied spherically from the center of the light absorption 30 to the outer region to create a distribution for the refractive index which is lower at the center of the light absorption and higher continuing outward, with functions similar to those of a convex lens. The thermal lens effect has long been utilized in the field of spectral analysis, and an ultra high sensitivity spectral analysis

can be carried out that can detect the light absorption of even a single molecule (see Non-Patent Documents 2 and 3).

[0010]

Moreover, there is disclosed, as a method of deflecting an optical path using variation of refractive index caused by the thermal lens effect or heat, a method of deflecting a light beam by creating a distribution of refractive index in a medium by providing heat using a heating resistor (see Patent Document 9). However, because, in all of the above methods, heat is produced using a heating resistor and a medium is heated using conduction, these methods have an intrinsic problem of diffusion of heat. That is, because of the diffusion of heat, a fine thermal gradient cannot be provided over a large area and a desired distribution of the refractive index cannot not be easily or reliably obtained. Furthermore, in actual practice, the fine processing of a heating resistor is limited, even when a photolithography technique used for semiconductor integrated circuits is employed, such that it is not possible to prevent the size of the device from increasing. When the size of the device increases, the optical system becomes larger and more complicated. Furthermore, because heat is produced using a heating resistor and the medium is heated by conduction of the heat, this invention has intrinsic disadvantages such as that the response is slow and the frequency for varying the refractive index cannot be increased.

[0011]

Moreover, there is disclosed a deflecting device using an optical device, comprising at least the optical device comprising an photo-sensitive composition and intensity distribution adjusting means for irradiating the optical device with light in a wedge-shaped optical intensity distribution, wherein a distribution of refractive index is formed in the optical device by a control light beam and deflection of a signal light beam having a wavelength different from that of the control light beam is carried out by the distribution of the refractive index (see Patent Document 10). Although this

scheme is excellent in terms of controlling light using light, this scheme is constrained in that the angle of deflection must be within 30 degrees and, therefore, is problematic in that directions for switching optical paths cannot be freely set.

5 [0012]

The present inventors disclosed in an earlier patent application an optical path switching apparatus and optical path switching method with no polarized-electromagnetic-wave dependence, for which angles and directions for switching optical paths can 10 be set freely, with which optical intensity attenuation of a signal light beam is small, and which can be used in a plurality of connection; a control light beam having a wavelength selected from a wavelength band that a light absorbing layer film absorbs and a signal light beam having a wavelength selected from a wavelength band that the 15 light absorbing layer film does not absorb are respectively converged and irradiated on the light absorbing layer film in a thermal lens forming device containing at least the light absorbing layer film; arrangement is adjusted such that at least the control light beam is focused within the light absorbing layer film; and a thermal 20 lens based on a distribution of the refractive index created reversibly caused by a temperature increase produced in an area of the light absorbing layer film that has absorbed the control light beam and the area surrounding the area is used. Thereby, a state wherein the converged signal light beam exits from the thermal 25 lens forming device at an ordinary divergence angle when the control light beam is not irradiated and no thermal lens is formed, and another state wherein the converged signal light beam exits from the thermal lens forming device at a divergence angle larger than the ordinary divergence angle when the control light beam is 30 irradiated and a thermal lens is formed are realized in response to the presence or absence of the irradiation of the control light beam; when the control light beam is not irradiated and no thermal lens is formed, the signal light beam exiting from the thermal lens forming device at the ordinary divergence angle is caused to travel,

either unchanged or with its ordinary divergence angle modified using a light-receiving lens, straight through a hole in a mirror. On the other hand, when the control light beam is irradiated and a thermal lens is formed, the signal light beam exiting while diverging 5 from the thermal lens forming device at a divergence angle larger than the ordinary divergence angle is reflected, unchanged or after the divergence angle of the divergence is changed using a light-receiving lens, using the hole-provided mirror.

[0013]

10 [Patent Document 1] JP 1996-286220 A  
[Patent Document 2] JP 1996-320535 A  
[Patent Document 3] JP 1996-320536 A  
[Patent Document 4] JP 1997-329816 A  
[Patent Document 5] JP 1998-90733 A  
15 [Patent Document 6] JP 1998-90734 A  
[Patent Document 7] JP 1998-148852 A  
[Patent Document 8] JP 1998-148853 A  
[Patent Document 9] JP 1985-14221 A  
[Patent Document 10] JP 1999-194373 A  
20 [Patent Document 11] JP 2002-275713 A  
[Patent Document 12] JP 2004-44991 A  
[Non-Patent Document 1] Takashi Hiraga, Norio Tanaka, Kikuko Hayamizu and Tetsuo Moriya, "Formation, Structure Evaluation and Photo-Material Property of Associated/Aggregated Pigment",  
25 Journal of Electronic Technology General Institute, Electronic Technology General Institute, Agency of Industrial Science and Technology, Ministry of International Trade and Industry, Vol. 59, No. 2, pp. 29-49 (1994).  
[Non-Patent Document 2] Kitao Fujiwara, Keiichiro Fuwa and Takayosi Kobayashi, "A Laser-Induced Thermal Lens Effect and Its Application to Calorimetry", Chemistry, Kagaku-Dojin, Vol. 36, No. 6, pp. 432-438 (1981).  
30 [Non-Patent Document 3] Takehiko Kitamori and Tsuguro Sawada, "Photo-Thermo Conversion Spectral Analysis Method", Bunseki,

Japanese Society of Analytical Chemistry, March, 1994, pp. 178-187.

[Disclosure of the Invention]

[Problems to be Solved by the Invention]

5 [0014]

An object of the present invention is to provide an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus and distribution method involving an optical packet communication system, that has no mechanical components, that 10 operates at a high speed, that is durable and has no dependence on polarized electromagnetic waves, and that cause no electromagnetic disturbances and is itself not affected by electromagnetic waves.

[Means for Solving the Problems]

15 [0015]

In order to attain the above object, the present invention provides an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus for providing data from a data server device to one or more of specific client devices selected among a plurality 20 of client devices. This comprises at least a data server device, a data communication unit, and a client device, wherein data communication unit includes at least an optical switch, an optical signal path, an optical signal transmitting unit, an optical signal receiving unit, and a data transmission/receipt control unit, the 25 optical signal transmitting unit has at least a signal light beam light source for irradiating a signal light beam having one or more wavelengths, and a control light beam light source for irradiating a control light beam having one or more wavelengths that are different from those of the signal light beam in response to a control signal 30 from the data transmission/receipt control unit, the optical switch includes at least one or more light absorbing layer films for transmitting the signal light beam and selectively absorbing only one specific wavelength of the control light beam, means for respectively converging and irradiating the control light beam and

the signal light beam to each of the light absorbing layer films, one or more thermal lens forming device for causing the converged signal light beam to exit maintaining the beam converged or for varying the angle of divergence of the signal light beam and for 5 causing the signal beam to exit, in response to presence/absence of irradiation of the one specific wavelength of the control light beam, by using a thermal lens containing the light absorbing layer films and based on a distribution of refractive index produced reversibly caused by temperature increase generated in an area of 10 the light absorbing layer film that has absorbed the one specific wavelength of the control light beam and in the periphery thereof, and a mirror provided respectively behind each of the thermal lens forming devices and having a hole and reflecting means, for passing 15 the signal light beam having exited from the thermal lens forming devices through the hole or reflecting the optical path of the signal light beam by deflecting the signal light beam by the reflecting means in response to presence/absence of irradiation of the one specific wavelength of the control light beam.

[0016]

20 Another optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of the present invention comprises the apparatus described above wherein the data communication unit at least irradiates and transmits an arbitrary size of digital information that has been split into optical packets, each containing 25 a fixed length or variable length optical digital signals as the signal light beam, and actuates the optical switch by irradiating an optical tag representing the identification information of a destination client device to each of the optical packets as the control light beam in synchronization with the irradiation of the 30 optical packets.

[0017]

Further, in order to attain the above object, the present invention provides a method comprising causing a signal light beam having one or more wavelengths transporting data converted to an

optical signal, and a control light beam that is irradiated from a control light beam light source according to the data transporting destination and that has one or more wavelengths that are different from those of the signal light beam to travel substantially coaxial  
5 and in the same direction; converging and irradiating respectively the control light beam and the signal light beam on each of one or more light absorbing layer films that transmit the signal light beam and that absorbs selectively only one specific wavelength of the control light beam; at each of one or more thermal lens forming  
10 devices each containing the light absorbing layer films, by using a thermal lens based on a distribution of refractive index produced reversibly caused by temperature increase generated in an area of the light absorbing layer film that has absorbed the one specific wavelength of the control light beam and in the periphery thereof,  
15 in response to presence/absence of irradiation of the control light beam having the one specific wavelength, causing the converged signal light beam to exit as it is or to exit with a divergence angle larger than the ordinary divergence angle, or with the normal divergence angle thereof; using a hole-provided mirror having a reflecting  
20 surface, in response to presence/absence of irradiation of the control light beam of the one specific wavelength, causing the signal light beam exited from the thermal lens forming device to travel straight through the hole or changing the optical paths thereof by reflecting the signal light beam at the reflecting surface;  
25 distributing the data to one or more specific client devices that are selected among a plurality of client devices.

[0018]

Another optically controlled optical-path-switching-type data distribution method of the present invention comprises the  
30 method described above wherein the signal light beam transports packets containing digital information of arbitrary size that has been split into a pack of fixed length or variable length digital signals, as optical packets; and the control light beam is irradiated in synchronization with the irradiation of the optical packets as

the optical tag representing the identification information on a destination client device for each packet, and serves to change optical paths of the optical packets.

[0019]

5 Another optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of the present invention comprises the apparatus described above wherein the data server device distributes a digital static image or moving images to one or more specific client devices selected among a plurality of client devices.

10 [0020]

Another optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of the present invention comprises the apparatus described above wherein the data server device distributes a digital static image or moving images for medical use to one or 15 more specific client devices selected among a plurality of client devices.

[Achieved Effects of the Invention]

[0021]

According to the present invention, there can be provided 20 an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus and distribution method involving an optical packet communication system, that has no mechanical components, that operates at a high speed, that is durable and has no dependence on polarized electromagnetic waves, and that cause no 25 electromagnetic disturbances and is itself not affected by electromagnetic waves.

[Best Mode for Carrying Out the Invention]

[0022]

[PRINCIPLE OF OPTICAL PACKET COMMUNICATION]

30 In packet communication systems in the telecommunication field, an arbitrary amount of digital information (data) is divided into packets, each having a pack of fixed length or variable length digital signals; each of the packets is transmitted after a tag representing the identification information containing a destination and a

re-assembly sequence is added; a communication path control device on a communication path delivers the packet to a destination by identifying the destination based on the information contained in the tag; the receiving side restores the original information by 5 arranging the sequence (order) of the segments of information that was divided into packets based on the information contained in the tag and accepts the original information.

[0023]

The optically controlled optical-path-switching-type data 10 distribution apparatus and distribution method of the present invention replaces such electric signal packets and tags with light beams. In other words, an arbitrary size of digital information (data) is divided into optical packets of a pack of fixed or variable length optical signals for transmission; an "optical destination 15 tag" representing identification information of the destination and an "optical sequence tag" representing identification information of the re-configuration sequence of an optical packet are added to each of the packets; the optically controlled optical switch on a communication path operates to deliver the optical packets 20 to the destination by identifying the destination based on the identification information contained in the optical destination tag; the receiving side reconfigures the information that has been divided into optical packets to obtain the original information. In this manner, a control light beam having a wavelength that is 25 different from a signal light beam is used as an optical destination tag representing the destination of an optical packet, while an optical sequence tag representing the identification information on the sequence to reassemble optical packets is added to the optical packets themselves and transmitted as a signal light beam.

30 [0024]

For example, in Figs. 1 and 2, data 12010, 12020, 12030, etc. to be sent to client devices 1201, 1203, 1203, etc. respectively from a data server device 1000 are first divided into electric signal packets by a data transmission/receipt control unit 1140 in a data

communication unit 1100; an electric signal sequence tag is attached to each electric signal packet, which is then converted into an optical packet 12011, 12021, 12031, 12012, 12013, or the like by an optical signal transmitting unit 1120, and transmitted through an optical signal path 1110, at optical switch 1101, the optical paths of the packets are switched to optical signal paths 1111, 1112 and 1113 by the actions of optical destination tags 12111, 12121, 12131, 12112, 12113 or the like that are irradiated in synchronization with each of the optical packets by an optical signal transmitting unit 1120. At the end of optical signal paths, optical signal receiving units 1131, 1132 and 1133 are disposed, by which the received optical packets are converted to electric signal packets, reassembled to the original data 12010, 12020, 12030 or the like based on the identification information on the re-configuration sequence recorded in the sequence tag in an electric signal packet at data transmission/receipt control units 1141, 1142 and 1143, and distributed to client devices 1201, 1202, 1203, etc. as electric signals. As shown in Fig. 2, for example, an original data 12010 is split into information portions 12311, 12312 and 12313 of an optical packet, then their optical paths are switched by an optical switch and distributed, then the information is restored based on the identification information on the re-configuration sequences of data which have been distributed as optical sequence tags 12211, 12212 and 12213, and delivered to a client device 1201.

25 [0025]

[SYNCHRONIZATION OF OPTICAL PACKET AND OPTICAL DESTINATION TAG]

Synchronization of an optical packet and an optical destination tag is carried out as exemplified below.

[0026]

30 As shown in Fig. 3, reference clock pulses generated by a data transmission/receipt control unit 1140 at the data transmitting side, are aligned so that ON states 13000, 13002, 13004, 13006, etc. and OFF states 13001, 13003, 13005, etc. are aligned alternatively at an equal pulse time width  $t_p$  (for example, 125

millisecond). Optical packets 12000, 12001 etc. are originated to both of ON and OFF states of the reference clock pulse, and for either state they are transmitted at a timing that is delayed by pre-determined delay time  $\Delta t$  after the rise or fall of the reference clock pulse. This delay time  $\Delta t$ , as described more specifically in Examples, is set according to the time that is required for the optical switch of the present invention to switch optical paths (for example, 1 millisecond of delay time  $\Delta t$  for a pulse interval  $t_p$ , 125 millisecond). Optical destination tags with wavelengths (1), (2), (3) etc. that are different from each other and generated from one or more control light beam sources are generated in synchronization with the reference clock pulses. In the example shown in Fig. 3, an optical destination tag 12111 having a wavelength (1) and an optical packet 12011 are synchronized and generated corresponding to the reference clock pulse ON state 13002, an optical destination tag 12121 having a wavelength (2) and an optical packet 12021 are synchronized and generated corresponding to the reference clock pulse OFF state 13003, an optical destination tag 12131 having a wavelength (3) and an optical packet 12031 are synchronized and generated corresponding to the reference clock pulse ON state 13004 respectively. When optical destination tags 12112 and 12113 are irradiated and transmitted in succession, the corresponding optical packets 12012 and 12013 are distributed to the same client device (in this case, 1201) in succession.

25 [0027]

[ELEMENTS CONFIGURING AN OPTICALLY CONTROLLED  
OPTICAL-PATH-SWITCHING-TYPE DATA DISTRIBUTION APPARATUS]

Elements configuring an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of the present invention are shown in Fig. 1. These elements are described in due order.

30 [0028]

[DATA SERVER DEVICE]

A data server device 1000 comprises at least a data collecting

unit 1050 and a transmission data storage unit 1010, and, as ordinary computer units, may further includes an input/output control unit 1040, an auxiliary storage unit, an external storage unit, a power supply unit, etc.

5 [0029]

The data collecting unit 1050 includes a known arbitrary data input device, and may have an auxiliary storage unit such as a temporary storage device (buffer memory) as necessary. Practical examples of data input devices are, for example, input interfaces 10 complied with digital data communication standards such as RS-232C, IEEE 1394, USB2.0 and SCSI, recording medium reading units such as floppy disk drive units, CD drive units, DVD drive units, magnetic tape units, semiconductor memory read units, etc., and digital interface boards for television images.

15 [0030]

The transmission data storage unit 1010 includes a known arbitrary data storage/recording device, and may also comprise an auxiliary storage unit such as a temporary storage unit (buffer memory) that operates at a high speed, as necessary. As a digital data storage/recording device, large capacity storage devices such as a hard disk drive unit, rewritable DVD drive unit, magnetic tape unit, or DVD auto-changer unit can be used.

[0031]

[DATA COMMUNICATION UNIT]

25 The data communication unit 1100 includes a data transmission side portion directly connected to the data server device 1000, an optical path and an optical switch connecting the data transmitting side and receiving side, and a data receiving side portion directly connected to a client device 1201 or the like.

30 [0032]

The data transmission side portion directly connected to the data server device 1000 includes at least a data transmission/receipt control unit 1140 and an optical signal transmitting unit 1120, and may be provided with an optical signal receiving unit 1130 for

receiving a response signal or data transmission request signal from the client device side, as necessary. Transmission of an optical signal from the client device to the data server device can be carried out corresponding to the timing of the optical switch through which  
5 the signal will pass.

[0033]

The data transmission/receipt control unit 1140 at the data transmitting side performs the splitting of digital information (such as data 12010) to be transmitted into electric signal packets,  
10 adding of an electric sequence tag representing the identification information on each electric signal packet re-configuration sequence to the electric signal packet, temporary storing individual electric signal packets, controlling transmission of an optical destination tag generated by converting an electric signal destination tag  
15 representing each of optical packet destination to a control light beam (transmission synchronized with the corresponding optical packet), and controlling transmission of an optical packet (transmission synchronized with the corresponding optical destination tag). Further, the data transmission/receipt control  
20 unit at the data transmitting side controls receipt of a response signal or data transmission request signal from the client device to the data server device based on the operating status of the optical switch.

[0034]

25 As a part of optical signal transmitting unit 1120 at the data transmitting side, a configuration of optical elements is shown in Fig. 4 and other drawings. In Fig. 4 and other drawings, the electric circuit of an optical signal transmitting unit 1120 is omitted.

30 [0035]

The optical signal transmitting unit at the data transmitting side first controls the oscillation state of a signal light beam source 20 in response to the ON and OFF signals of an electric signal packet, and sends the oscillation state as an optical packet 12011,

etc. to convert the electric signal packet containing a sequence tag represented by the electric signal to the intensity or continuation/discontinuation of a signal light beam 120, and secondary controls the oscillation states of one or more control 5 light beam sources 21, 22, 23, etc. at the optical signal transmitting unit in response to the destination tag of an electric signal at the time the optical packet is sent, to transmit it as an optical destination tag 12111, etc. As an optical signal transmitting unit at the data transmitting side, a laser oscillation control device 10 and a laser source of a known desirable system can be used. Other optical elements of an optical signal transmitting unit will be described in the Examples.

[0036]

For an optical signal path 1110 that connects the data 15 transmitting side with the data receiving side, one or more of open space, optical fibers, and optical waveguides can be used in combination, as appropriate. For example, an optical fiber between the optical signal transmitting unit to the optical switch, a space within the optical switch, and further an optical waveguide in the 20 optical signal receiving unit may be used in combination, as appropriate. As an optical fiber, a multimode or single mode quartz glass optical fiber or a plastic optical fiber can be selectively used, considering the transmission loss property at the wavelengths 25 of the control light beam and signal light beam to be used and transmission distance. For example, as long as the transmission loss of a single mode quartz glass optical fiber is 5 dB/km or less at wavelength range of 600 nm to 1.6  $\mu$ m and the transmission distance is 100 to 200 m or so, the single mode quartz glass optical fiber can be used without consideration of transmission loss.

30 [0037]

The data receiving side directly connected to a client device comprises at least a data transmission/receipt control unit 1141, etc. and an optical signal receiving unit 1131, etc. at the data receiving side, and may be provided with optical signal transmitting

unit 1121 for transmission of a response signal or data transmission request signal from the client device to the data server device.

[0038]

A data transmission/receipt control unit 1141, 1142, 1143, 5 etc. at the data receiving side temporarily stores all the packets received and converted to electric signals, confirms the portion representing the destination in the sequence tag added to each of the packets and discards any incorrectly received packets, confirms and temporarily stores the sequence tag representing the 10 identification information on the sequence for reassembling individual packets, and reassembles digital information (data) based on the information contained in the sequence tag. Further, the data transmission/receipt control units at the data receiving side controls a response signal or data transmission request signal from 15 the client device to the data server device in response to the optical switch operating status.

[0039]

The optical signal receiving unit at the data receiving side receives the optical packet 12011, etc., and converts it to an electric 20 signal packet. It is desirable to form an electric signal based on the intensity or continuation/discontinuation state of an optical signal that was received by separating noise components from the signal.

[0040]

25 As the optical signal receiving unit and the data transmission/receipt control unit at the data receiving side, a known arbitrary optical communication receiver (optical transceiver) can be selectively used in accordance with the wavelength band and data transfer rate (bit rate) of the signal 30 light beam to be used.

[0041]

[CLIENT DEVICE]

A client device comprises a received data storage unit 1211, etc., or data display unit 1261, etc., and may further comprise

ordinary computer units such as an input/output control unit, an auxiliary storage unit, an external storage unit, a power supply unit, etc. A received data storage unit comprises a known arbitrary digital data storage/recording unit, and may have an auxiliary storage unit such as a temporary storage unit (buffer memory) that is operable at a high speed, as necessary. As a digital data storage/recording unit, a large capacity storage unit such as a hard disk drive unit, or rewritable DVD drive unit can preferably be used.

10 [0042]

For the elements configuring the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of the present invention described above, known units excluding the optical switch can be used in a known manner to embody the present invention.

15 [0043]

[OPTICAL SWITCH]

An optical path switching mechanism 91 of an optical switch with a minimum configuration used in an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of the 20 present invention is shown in Fig. 5. The schematic view of an optical switch 1101 connecting three optical path switching mechanisms 91, 92 and 93 in three stages in a space is exemplified in Fig. 4a (see Example 1). The principle of the operation of an optical switch used in the present invention is shown in Figs. 11, 12, 13, and 25 14.

[0044]

The optical switch 1101 used in the present invention comprises at least a thermal lens forming device 1, etc. containing one or more light absorbing layer film and thermal lens forming layer 502 that transmits the signal light beam (optical packet) 120, 110, 30 111, 112, etc. and selectively absorbs only one specific wavelength of the control light beams respectively, means (for example, condenser lens 31, 32, 33, etc.) for converging and irradiating the control light beam and the signal light beam on to each of the

light absorbing layer films, and the light absorbing layer film; a thermal lens forming device 1, 2, 3, etc. that includes the light absorbing layer films and, by using a thermal lens 50 or 60 based on a distribution of refractive index reversely proportional to  
5 the temperature increase generated in an area of the light absorbing layer film that has absorbed the one specific wavelength of the control light beam and in the periphery thereof, and in response to the presence/absence of irradiation of one specific wavelength of the control light beam, causes the converged signal light beam  
10 to exit as it is as shown in Fig. 12(b), and causes the converged signal light beam to exit with a divergence angle larger than the ordinary divergence angle as shown in Fig. 12(a), or as shown in Fig. 11(a) or 11(b), causes the converged signal light beam to exit with an ordinary divergence angle; and a mirror 61 provided  
15 respectively behind each of the thermal lens forming devices and having a hole 161 and reflecting means, for passing the signal light beam having exited the thermal lens forming devices through the hole 161 or deflecting the optical path by reflecting the signal light beam by the reflecting means in response to presence/absence  
20 of irradiation of the one specific wavelength of the control light beam.

[0045]

The components of an optical switch used in the present invention will now be described in detail.

25 [0046]

[MEANS FOR RESPECTIVELY CONVERGING AND IRRADIATING A CONTROL LIGHT BEAM AND SIGNAL LIGHT BEAM]

In operating an optical switch utilizing the thermal lens effect of the present invention, a condenser lens or concave mirror is  
30 used as a means to respectively converge and irradiate a control light beam and a signal light beam on the same area of a light absorbing layer film/thermal lens forming layer 502. As a condenser lens, a normal convex lens or the like, an aspheric convex lens, a distributed index condenser lens, an objective lens for a microscope

consisting of a plurality of lenses, a lens for photographic equipment, or the like can preferably be used. Achromatic aberration correcting lens that is a combination of convex lenses with different refractive indices may be used to correct chromatic aberration caused by  
5 differences in refraction indices of lens materials in response to the differences in wavelength of a signal light beam and a control light beam. In order to cause a signal light beam and control light beam to enter the light absorbing layer film without any loss, the effective aperture of a condenser lens or concaved mirror must be  
10 larger than the beam diameter of a parallel beam containing a signal light beam and a control light beam. Furthermore, positional relation with a light absorbing layer film is set based on the focal distance and working distance of the condenser lens or concaved mirror. Specific examples are described in the Examples.

15 [0047]

[LIGHT RECEIVING LENS]

A light receiving lens receives the exiting signal light beam without loss, when a control light beam is not irradiated and the converged signal light beam exits from a thermal lens forming device  
20 at an ordinary divergence angle and when a control light beam is irradiated and signal light beam is exited at a divergence angle larger than an ordinary angle from the thermal lens forming device, and used as a means to restore a parallel light beam. A lens similar to a condenser lens can be used as a light receiving lens. For a  
25 light receiving lens as used herein, a concaved mirror can also be used. Further, it is recommended that the numerical aperture (hereinafter, referred to simply as "NA") of these light receiving lenses be set to be a value larger than the NA of the condenser lenses. More specifically, by setting the NA of the light receiving  
30 lenses equal to or more than twice as large as the NA of the condenser lens, the light receiving lens can receive light beams without loss, even when a signal light beam exits at a divergence angle larger than an ordinary divergence angle.

[0048]

On the other hand, when a configuration is employed in which the converged signal light beam exits unchanged from a thermal lens forming device when a control light beam is irradiated, if the beam diameter of the exited light beam remains small, convergence of 5 the light beam will likely be insufficient due to diffraction of light, in converging and irradiating the light beam again on the thermal lens forming device in the optical switch or having the light beam condensed and causing to enter in an optical fiber at a latter stage. In such a case, it is recommended that the beam 10 diameter be expanded by expanding the signal light beam that exited while being converged. As a means for expanding a light beam, a known means such as, for example, a Keplerian optical system comprising two convex lenses may be used.

[0049]

15 [WAVELENGTH SELECTING AND TRANSMITTING FILTER]

As long as the transmittance of a control light beam at a thermal lens forming device in an optical switch for use in the present invention is not 0%, an amount of the control light beam corresponding to the transmittance is transmitted through and exits from the thermal 20 lens forming devices. In order to prevent this amount of light from entering the thermal lens forming devices or elsewhere where it may cause malfunction or cross-talk, it is necessary to make the transmittance of each of the control light beams in the thermal lens forming devices 1, 2, and 3 approach 0%. Furthermore, it is 25 preferable that the wavelength selecting and transmitting filters (81, 82 and 83 in Fig. 4) be provided behind the thermal lens forming devices 1, 2 and 3. As these wavelength selecting and transmitting filters, any known filters may be used that completely block light in the wavelength band of each of the control light beams while 30 that can efficiently transmit light in the wavelength band of the signal light beams and that of the control light beams for the optical switch in the latter stages. For example, plastic or glass colored by a pigment, glass provided with a dielectric multi-layer film on the surface thereof, etc. can be used. A thin film comprising

such a material for the wavelength selecting and transmitting filter may be formed on the surface of the condenser lenses (41, 42 and 43 in Fig. 4) by a coating method, a sputtering method, etc. and may function as the wavelength selecting and transmitting filter.

5 [0050]

[THERMAL LENS FORMING DEVICE]

In the present invention, a device having a lamination film-type structure can be used as a thermal lens device and the following combinations, for example, can be listed as the structure of the 10 lamination film.

[0051]

(1) A light-absorbing layer film alone. However, this light-absorbing layer film may be any one of a single-layer film literally comprising only a light-absorbing film, or a lamination 15 layer-type thin film having a two-layer structure such as a light-absorbing film/thermal lens forming layer, or a three-layer structure such as a light-absorbing film/thermal lens forming layer/light-absorbing layer. The following light-absorbing layer films (2) to (10) contain a structure same as that described above:

20 [0052]

(2) Light-absorbing layer film/heat-insulating layer film.

[0053]

(3) Heat-insulating layer film/light-absorbing layer film/heat-insulating layer film.

25 [0054]

(4) Light-absorbing layer film/heat-conducting layer film.

[0055]

(5) Heat-conducting layer film/light-absorbing layer film/heat-conducting layer film.

30 [0056]

(6) Light-absorbing layer film/heat-insulating layer film/heat-conducting layer film.

[0057]

(7) Heat-conducting layer film/light-absorbing layer

film/heat-insulating layer film.

[0058]

(8) Heat-conducting layer film/light-absorbing layer film/heat-insulating layer film/heat-conducting layer film.

5 [0059]

(9) Heat-conducting layer film/heat-insulating layer film/light-absorbing layer film/heat-insulating layer film.

[0060]

10 (10) Heat-conducting layer film/heat-insulating layer film/light-absorbing layer film/heat-insulating layer film/heat-conducting layer film.

[0061]

15 (11) Refractive-index-distributed-type lens/(light-transmitting layer/) any one of thermal lens forming devices of above (1) to (10).

[0062]

20 (12) Refractive-index-distributed-type lens/(light-transmitting layer/) any one of thermal lens forming devices of above (1) to (10)/(light-transmitting layer/) Refractive index-distributed-type lens.

[0063]

25 The above "(light-transmitting layer/)" means to provide a light-transmitting layer when necessary. In addition, an anti-reflection film (AR coating film) may be provided on an entering surface and an exiting surface of a light beam when necessary.

[0064]

30 Cross-sectional views exemplifying the structure of a thermal lens forming device are shown in Figs. 11, 12, and the like. As exemplified in Fig. 11, a thermal lens forming device 1 comprises, for example, a heat-conducting layer film 501/a light absorbing layer film and thermal lens forming layer 502/a heat-conducting layer film 503 stacked in this order from the entering side for a control light beam 121 and a signal light beam 110.

[0065]

Furthermore, a schematic view exemplifying a pigment-solution-filling-type thermal lens forming device is shown in Fig. 15. As exemplified in Fig. 15, a pigment-solution-filling-type thermal lens forming device 800 is 5 a device produced in a manner that a pigment solution working as a combined light-absorbing layer film and thermal lens forming layer is filled from an introducing inlet 807 of an introducing pipe 806 into a pigment solution filling unit 808 of an optical cell 809 surrounded by entering and exiting surface glass plates 801 and 10 802 working as heat-conducting layer films, side glass plates 803 and 804, and a bottom glass plate 805, and the introducing inlet 807 is closed. That is, this device 800 has a simple device structure such as heat-conducting layer film/light-absorbing layer film and combined light-absorbing layer film and thermal lens forming 15 layer/heat-conducting layer film.

[0066]

Materials, production methods, and film thicknesses of the light-absorbing layer film, the thermal lens forming layer, the heat-insulating layer film, the heat-conducting layer film, the 20 light-transmitting layer, and the refractive-index-distributed-type lens will be described below.

[0067]

The light-absorbing layer film, the thermal lens forming layer, the heat-insulating layer film, the heat-conducting layer film, 25 the light-transmitting layer, and materials of the refractive-index-distributed-type lens used in the invention may contain known oxidation inhibitors, UV-absorbing agents, singlet oxygen quenchers, dispersion assistants, etc. as additives to the extent those additives do not influence those films, layers and 30 materials in order to improve the processability thereof or improve stability and durability as an optical device.

[0068]

#### [MATERIALS OF THE LIGHT-ABSORBING LAYER FILM]

Various known materials may be used as the light-absorbing

materials used for the light-absorbing layer film in the thermal lens forming device used in the invention.

[0069]

Specifically examples of light-absorbing materials which may 5 be preferably used for the light-absorbing layer film in the thermal lens forming device used in the invention include, for example, a single crystal of a compound semiconductor such as GaAs, GaAsP, GaAlAs, InP, InSb, InAs, PbTe, InGaAsP, ZnSe; materials obtained by dispersing fine particles of these compound semiconductor into 10 a matrix material; a single crystal of a metal halide (for example, potassium bromide, sodium bromide, etc.) doped with ions of another metal; materials obtained by dispersing fine particles of these metal halides (for example, copper bromide, copper chloride, cobalt chloride, etc.) into a matrix material; a single crystal of cadmium 15 chalcogenide such as CdS, CdSe, CdSeS, CdSeTe, etc. doped with ions of another metal such as copper, etc.; materials obtained by dispersing fine particles of these cadmium chalcogenide into a matrix material; a semiconductor single crystal thin film such as silicon, germanium, selenium, tellurium, etc.; a polycrystalline thin film 20 or a porous thin film; materials obtained by dispersing fine particles of a semiconductor such as silicon, germanium, selenium, tellurium, etc. into a matrix material; a single crystal (generally called "laser crystal") corresponding to a jewel doped with ions of a metal, such as a ruby, an alexandrite, a garnet, a Nd:YAG, 25 a sapphire, a Ti:sapphire, a Nd:YLF, etc.; a ferroelectric crystal such as lithium niobate (LiNbO<sub>3</sub>), LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, KTiOPO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, KNbO<sub>3</sub>, BaB<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, etc. doped with ions of a metal (for example, iron 30 ions); quartz glass, soda glass, borosilicate glass, other glasses, or the like, doped with ions of a metal (for example, neodymium ions, erbium ions, etc.); and, in addition, materials obtained by dissolving or dispersing a pigment into a matrix material; and an amorphous pigment aggregate.

[0070]

Among the above-listed materials, those obtained by dissolving

or dispersing a pigment into a matrix material are especially preferable because such materials offer a wide range for selecting the matrix material and the pigment, and because they are easy to process into a thermal lens forming device.

5 [0071]

Specific examples of pigments that can be preferably used in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention include, for example, a 10 xanthene-based pigment such as rhodamine-B, rhodamine-6G, eosin, floxin-B, etc.; an acridine-based pigment such as acridine orange, acridine red, etc.; an azo pigment such as ethyl red, methyl red, etc.; a porphyrin-based pigment; a phthalocyanine-based pigment; a naphthalocyanine-based pigment; a cyanine pigment such as 3, 15 3'-diethylthiacarbocyanine iodide, 3, 3'-diethyloxadicarbocyanine iodide, etc.; a triarylmethane-based pigment such as ethyl violet, Victoria blue-R, etc.; a naphthoquinone-based pigment; an anthraquinone-based pigment; a naphthalenetetracarboxydiimide-based pigment; a 20 perylenetetracarboxydiimide-based pigment; etc.

[0072]

In the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention, any of the pigments may 25 be used individually, or two or more pigments may be used in combination.

[0073]

As a matrix material that can be used in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus 30 and the optical signal optical path switching method of the invention, any material that satisfies both of the following conditions may be used:

(1) The material has a high transmittance in a wavelength region of the light used in the optically controlled

optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention; and

(2) The material is able to solve or disperse with high stability  
5 the pigments or various fine particles that are used in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention.

[0074]

10 Examples of acceptable inorganic solid-state matrix materials include, for example, a single crystal of a metal halide, a single crystal of a metal oxide, a single crystal of a metal chalcogenide, quartz glass, soda glass, boron silicate glass, and, in addition, a low-melting-point glass material produced in a generally-called  
15 sol-gel processing method.

[0075]

Examples of acceptable inorganic liquid-state matrix materials include, for example, water, water glass (a thick water solution of alkaline silicate), hydrochloric acid, sulfuric acid, nitric  
20 acid, aqua regia, chlorosulfonic acid, methanesulfonic acid, and trifluoromethansulfonic acid.

[0076]

Examples of acceptable organic solvents include, specifically, alcohols such as methanol, ethanol, isopropyl alcohol, n-butanol, amyl alcohol, cyclohexanol, benzyl alcohol; polyatomic alcohols such as ethylene glycol, diethylene glycol, glycerin, etc.; esters such as ethyl acetate, n-butyl acetate, amyl acetate, isopropyl acetate, etc.; ketones such as acetone, methyl ethyl ketone, methyl isobutyl ketone, cyclohexanone, etc.; ethers such as diethyl ether, dibutyl ether, methoxy ethanol, ethoxy ethanol, butoxy ethanol, carbithol, etc.; cyclic ethers such as tetrahydrofuran, 1, 4-dioxan, 1, 3-dioxolan, etc.; hydrocarbon halides such as dichloromethane, chloroform, carbon tetrachloride, 1, 2-dichloroethane, 1, 1, 2-trichloroethane, trichlene, bromoform,

dibromomethane, diiodomethane, etc.; aromatic hydrocarbons such as benzene, toluene, xylene, chlorobenzene, o-dichlorobenzene, nitrobenzene, anisole,  $\alpha$ -chloronaphthalene, etc.; aliphatic hydrocarbons such as n-pentane, n-hexane, n-pentane, cyclohexane, etc.; amides such as N, N-dimethylformamide, N, N-dimethylacetamide, hexamethylphosphorictriamide, etc.; cyclic amides such as N-methylpyrrolidone, etc.; urea derivatives such as tetramethylurea, 1, 3-dimethyl-2-imidazolidinone, etc.; sulfoxides such as dimethylsulfoxide, etc.; ester carbonates such as propylene carbonate, etc.; nitriles such as acetonitrile, propionitrile, benzonitrile, etc.; nitrogen-containing heterocyclic compounds such as pyridine, quinoline, etc.; amines such as triethylamine, triethanolamine, diethylaminoalcohol, aniline, etc.; organic acids such as chloracetic acid, trichloracetic acid, trifluoroacetic acid, acetic acid, etc.; and, in addition, such solvents as nitromethane, carbon disulfide, sulfolan, etc. A plurality of these solvents can be used also in combination.

[0077]

Furthermore, as organic matrix materials, liquid-state, solid-state, glass-state, or rubber-state organic high-molecule materials can be used. Specific examples of those materials include resins such as polystyrene, poly ( $\alpha$ -methylstyrene), polyindene, poly (4-methyl-1-pentene), polyvinylpyridine, polyvinylformal, polyvinylacetal, polyvinylbutiral, polyvinyl acetate, polyvinyl alcohol, polyvinyl chloride, polyvinylidene chloride, polyvinylmethyl ether, polyvinylethyl ether, polyvinylbezyl ether, polyvinylmethylketone, poly(N-vinylcarbazole), poly(N-vinylpyrrolidone), polymethylacrylate, polyethylacrylate, polyacrylic acid, polyacrylonitrile, polymethylmethacrylate, polyethylmethacrylate, polybutylmethacrylate, polybenzylmethacrylate, polycyclohexylmethacrylate, polymethacrylic acid, polymethacrylamide, polymethacrylonitrile, polyacetaldehyde, polychloral, polyethylene oxide, polypropylene oxide, polyethylene terephthalate, polycarbonates (bisphenols +

carbonic acid), poly(diethyleneglycol/bisaryl carbonate), 6-nylon, 6, 6-nylon, 12-nylon, 6, 12-nylon, polyethylasparagine, polyethylglutamate, polylysine, polyproline, poly( $\gamma$ -benzyl-L-glutamate), methylcellulose, ethylcellulose, 5 bezylcellulose, hydroxyethylcellulose, hydroxypropylcellulose, acetylcellulose, cellulose triacetate, cellulose tributylate, alkyd resin (phthalic anhydride + glycerin), aliphatic acid-denatured alkyd resin (aliphatic acid + phthalic anhydride + glycerin), unsaturated polyester resin (maleic anhydride + phthalic anhydride + propyleneglycol), epoxy resin (bisphenol + 10 epichlorhydrin), polyurethane resin, phenol resin, urea resin, melamine resin, xylene resin, toluene resin, guanamine resin, etc.; organic polysilanes such as poly(phenylmethylsilane), etc.; and organic polygermane and copolymers and condensation-copolymer 15 thereof. Also acceptable are certain high-molecular compounds obtained by plasma-polymerizing a compound having no polymerizing property in the normal state, etc., such as carbon bisulfide, carbon tetrafluoride, ethylbenzene, per-fluorobenzene, per-fluorocyclohexanone or trimethylchlorosilane, etc.

20 Furthermore, a residual radical of a pigment as a side chain of each monomer as a unit, or as a bridging radical of each copolymeric monomer as a unit, or as a polymerization starting terminal is combined to any one of these organic high-molecular compounds can also be used as a matrix material. The residual radical of a pigment and 25 a matrix material may form chemical bonding.

[0078]

Known methods can be used for dissolving or dispersing the pigment into these matrix materials. For example, any of the below-described methods can be preferably employed. After the 30 pigment and the matrix material have been solved and mixed in a common solvent, the solvent is removed by evaporation; after the pigment is solved and mixed in a raw material solution of the inorganic matrix material produced in the sol-gel processing method, the matrix material is prepared; using a solvent when necessary, the pigment

is solved or dispersed in a monomer of the organic high-molecular matrix material and, thereafter, the matrix material is prepared by polymerizing or condensation-polymerizing the monomer; and, a solution obtained by dissolving the pigment and the organic 5 high-molecular matrix material in a common solvent is dropped into a solvent that does not dissolve both the pigment and the thermoplastic high-molecular matrix material, precipitants are filtered off, dried, and heat/melting processed. The aggregation of pigment molecules to form special associated bodies known as "H-associated bodies" 10 and "J-associated bodies" by devising the combination and the processing method of the pigment and the matrix material is known, and pigment molecules in the matrix material can be used in a state where the pigment molecules may form either the aggregated state or the associated state.

15 [0079]

Furthermore, known methods may be used in order to disperse the above-described various fine particles in these matrix materials. Examples of steps that may be preferably employed include that, after the fine particles have been dispersed in a solution of the 20 matrix material or a solution of a precursor of the matrix material, the solvent is removed; using a solvent when necessary, the fine particles are dispersed and the matrix material is prepared by polymerizing or condensation-polymerizing the monomer; after metal salt such as, for example, cadmium perchlorate or gold chloride 25 as a precursor of the fine particles has been melted or dispersed in the organic high-molecular matrix material, fine particles of cadmium sulfide are deposited in the matrix material by processing with hydrogen sulfide, or fine particles of gold are deposited in the matrix material by heat-processing; chemical vapor deposition 30 and sputtering; and others.

[0080]

In a case wherein the pigment can exist by itself as a thin film in an amorphous state that causes little optical dispersion, an amorphous film of the pigment can also be used as the

light-absorbing layer film without using any matrix material.

[0081]

Furthermore, in the case wherein the pigment can exist by itself as an aggregation of fine crystals that does not cause optical dispersion, a fine crystal aggregation of the pigment can also be used as the light-absorbing layer film without using any matrix material. As in the thermal lens forming device used in the invention, in a case wherein the pigment fine crystal aggregation as a light-absorbing layer film exists being laminated with a thermal lens forming layer (such as resin, etc.), a heat-conducting layer film (such as glass, etc.) and/or a heat-insulating layer film (such as resin, etc.), optical dispersion is not substantially caused when the particle diameter of the pigment fine crystal does not exceed 1/5 of the wavelength that is the smaller wavelength of that the signal light beam and that of the control light beam.

[0082]

[COMBINATION AND ORDER OF MATERIAL OF THE LIGHT-ABSORBING LAYER FILM, WAVELENGTH BAND OF THE SIGNAL LIGHT BEAM, AND WAVELENGTH BAND OF THE CONTROL LIGHT BEAM]

The material of the light-absorbing layer film, a wavelength band of the signal light beam and a wavelength band of the control light beam used in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention can be used by selecting a proper combination thereof according to the purpose of use, as a combination thereof.

[0083]

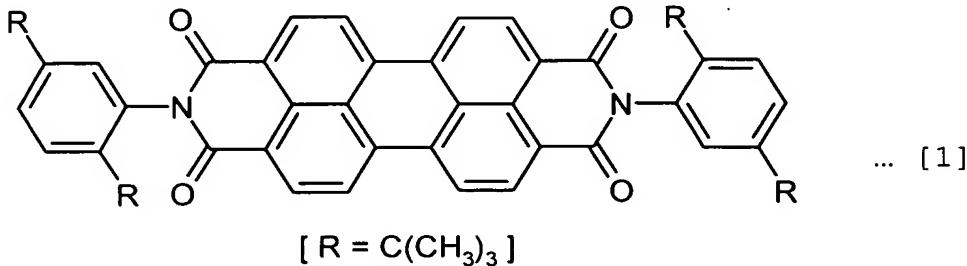
As a specific procedure to make settings, for example, first, a wavelength or a wavelength band of the signal light beam may be determined according to the purpose of use and a combination of a material of the light-absorbing layer film and a wavelength of the control light beam optimal for controlling the determined wavelength or the determined wavelength band of the signal light beam may be selected. Alternatively, after a combination of

wavelengths of the signal light beam and the control light beam have been determined according to the purpose of use, a material of the light-absorbing layer film suitable for the determined combination may be selected.

5 [0084]

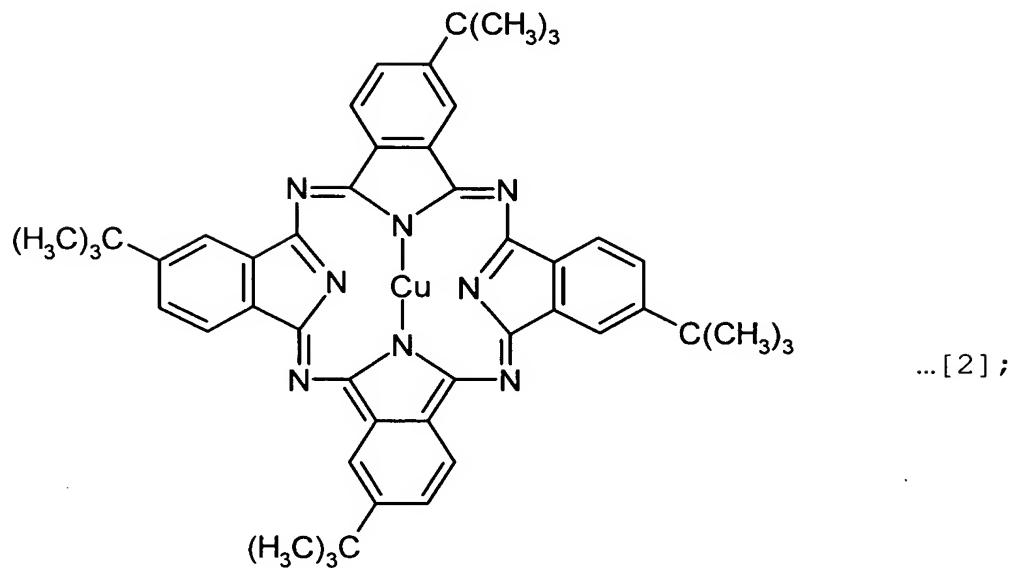
As a specific example of such a selection procedure, an example will be described wherein a near-infrared light beam having a wavelength of 850nm, 1350nm, or 1550nm oscillated from a semiconductor laser and which can be modulated at an ultra-high 10 speed on the order of gigahertz is used as the signal light beam, wherein this light beam is switched between optical paths by the control light beam of a plurality of visible light beam wavelength bands. As a light source of the control light beam, a continuous 15 wave (CW) oscillation laser that can be turned on and off at a response speed greater than sub-millisecond can be preferably used. Examples, listed in order of increasing wavelength, include a blue-violet or blue semiconductor laser light beam having a wavelength of 405 to 445nm; a light beam obtained by converting a light beam having a wavelength of 1064nm of a semiconductor-excited Nd: YAG laser 20 into a green light beam of 532nm by a second order non-linear optical device; a red semiconductor laser light beam of 635nm or 670nm; and a near-infrared laser light beam of 780nm or 800nm. As a pigment that shows absorption in these wavelength bands for the control light beam and does not absorb a near infrared light beam of 850nm 25 or 1550nm, for example, two (2) or more of such pigments can be selected and preferably used respectively as: for example, N, N'-bis(2, 5-di-*tert*-butylphenyl)-3, 4; 9, 10-*perylene*dicarboxyimide) [1],

[Chem 1]

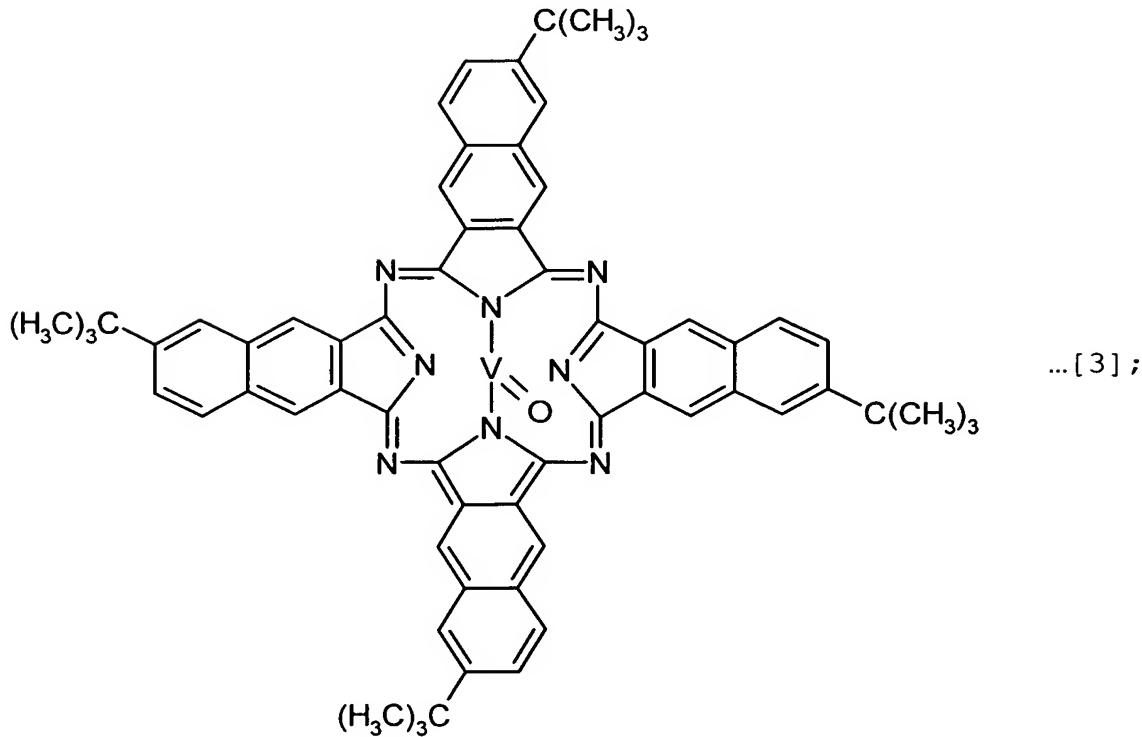


Copper(11)2, 9, 16, 23-tetra-*tert*-butyl-29H, 31H-phthalocyanine [2],

[Chem 2]



Vanadyl 2, 11, 20, 29-tetra-*tert*-butyl-2, 3-naphthalocyanine [3],  
20 [Chem 3]



etc. Any one of these pigments has high light resistance and heat resistance and is especially preferable as the pigment for the 5 light-absorbing layer film to form a thermal lens in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention. Transmittance spectra of tetrahydrofuran solutions of the pigments [1], [2], and [3] are shown in Fig. 16 10 by a solid line, a broken line, and a dotted dashed line, respectively. Although not shown in Fig. 16, these pigment solutions have a transmittance of 98% or higher in a near infrared region of 900 to 1550nm.

[0085]

15 Relationships between the oscillation frequency of the control light beam laser and the transmittance spectra of these pigments are as shown in Table 1.

[0086]

[Table 1]

	Pigment Number	Laser Oscillation Wavelength [nm]							
		445	532	635	650	670	780	800	850
Transmittance	[1]	3.59	0.10	97.08	97.36	97.33	97.67	97.15	98.64
	[2]	93.64	81.67	2.32	0.78	0.00	97.23	98.37	99.63
	[3]	52.19	89.90	88.72	81.56	73.35	9.06	0.12	89.00

20

[0087]

As can be seen from Table 1, the pigment [1] is preferable as a material of the light-absorbing layer film of the thermal lens forming device that absorbs the control light beam having a wavelength 25 of 445 to 532nm. Similarly, the pigment [2] is preferable as a material of the light-absorbing layer film responding to a wavelength of 635 to 670nm, and the pigment [3] is preferable as a material of the light-absorbing layer film responding to a wavelength of 780 to 800nm. These pigments can be used by dissolving the pigments 30 in the above solvent and filling the solution in the optical cell,

or by dissolving the pigments in the organic high-molecular material and sandwiching the solution between the heat-conducting layer films, or by forming the pigments in a film as a spin-coated film or a vapor-deposited film on the heat-conducting layer film.

5 [0088]

When two or more of these pigments are selected and used, it is preferable to use optical path switching mechanisms containing thermal lens forming devices responding to the absorption wavelength bands of each pigment, connecting these mechanisms starting from 10 the one for the smallest wavelength. That is, the absorption bands and non-absorption bands of each of the pigments can be overlapped efficiently and used by, for example, using the pigments in a two-stage configuration of the pigment [1] for an optical path switching mechanism in a first stage and the pigment [2] or the pigment [3] 15 for a second stage, or in a three-stage configuration of the pigment [1] for the first stage, the pigment [2] for the second stage and the pigment [3] for a third stage.

[0089]

[COMPOSITION OF MATERIAL OF LIGHT-ABSORBING LAYER FILM, FILM  
20 THICKNESS OF LIGHT-ABSORBING LAYER FILM IN LIGHT-ABSORBING LAYER  
FILM AND FILM THICKNESS OF THERMAL LENS FORMING LAYER]

In the thermal lens forming device used in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching 25 method, the light-absorbing layer film may be a laminated-layer-type thin film having any one of a single-layer-film structure of "light-absorbing film" alone, or a two-layer structure of "light-absorbing film/thermal lens forming layer", or a three-layer structure of "light-absorbing film/thermal lens forming 30 layer/light-absorbing film". It is preferable that the thickness of the whole light-absorbing layer film does not exceed a length that is twice as long as a confocal distance of the control light beam that has been converged. Furthermore, when a higher response speed is desired, it is preferable that the thickness of the

light-absorbing layer film comprising the stacked-layer-type thin films does not exceed the confocal distance of the control light beam that has been converged.

[0090]

5       Under these conditions, the composition of the material of the light-absorbing layer film and a thickness of the light-absorbing films in the light-absorbing layer film can be set relative to the transmittance of the control light beam and the signal light beam transmitting the light-absorbing layer film as a combination of  
10 these items. For example, among the compositions of the material of the light-absorbing layer film, first, the density of at least a component that absorbs the control light beam or the signal light beam is determined and, then, the thickness of the light-absorbing film(s) in the light-absorbing layer film may be set such that the  
15 transmittance of the control light beam and the signal light beam transmitting the thermal lens forming device is of a specific value. Alternatively, first, for example, the thickness of the light-absorbing films in the light-absorbing layer film is set at a specific value in response to the necessity in the apparatus  
20 designing. Thereafter, the composition of the material of the light-absorbing layer film can be adjusted such that the transmittance of the control light beam and the signal light beam transmitting the thermal lens forming device becomes a specific value.

25       [0091]

      The values of the transmittance of the control light beam and the signal light beam transmitting the light-absorbing film, optimal for bringing out a thermal lens effect of a sufficient magnitude and at a high speed with as low power as possible from the thermal  
30 lens forming device used in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention, are respectively as described in the following.

[0092]

In the thermal lens forming device used in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention, it is recommended that control of the density and the existing state of the light-absorbing component in the light-absorbing layer film and setting of the film thickness of the light-absorbing films in the light-absorbing layer film are carried out such that the transmittance of the control light beam propagating the light-absorbing layer film in the thermal lens forming device becomes 90% to 0%.

[0093]

On the other hand, when the control light beam is not irradiated, it is recommended that control of the density and the existing state of the light-absorbing component in the light-absorbing layer film and setting of the film thickness of the light-absorbing films in the light-absorbing layer film be carried out such that the transmittance of the signal light beam propagating the light-absorbing layer film in the thermal lens forming device becomes 10% as the lower limit or higher and approaches unlimitedly 100% as the upper limit.

[0094]

The lower limit of the thickness of the thermal lens forming layer film in the light-absorbing layer film is selected according to the material of the thermal lens forming layer described as follows.

[0095]

[MATERIAL OF THERMAL LENS FORMING LAYER AND THE FILM THICKNESS OF THERMAL LENS FORMING LAYER IN THE LIGHT-ABSORBING LAYER FILM]

Although the single-layer light-absorbing film may itself function as the thermal lens forming layer, other materials may be assigned the functions of light absorption and lens formation, and the optimal materials selected may be employed by stacking the materials.

[0096]

As the material of the thermal lens forming layer in the

light-absorbing layer film, a liquid, liquid crystal, and solid material can be used. Especially, it is preferable that the thermal lens forming layer comprises an organic compound selected from a group consisting of an amorphous organic compound, an organic compound liquid, and a liquid crystal. However, in the case where the material of the thermal lens forming layer is liquid crystal or liquid, the thermal lens forming layer can be produced by, for example, forming the light-absorbing film and/or the heat-conducting layer film from a self-form-maintaining material, providing a cavity having the size corresponding to the thickness of the thermal lens forming layer, and injecting the thermal lens forming layer material in a fluid state. On the other hand, when the material of the thermal lens forming layer is a solid, the light-absorbing film may be produced by stacking the light-absorbing film on one (1) side or both sides of the thermal lens forming layer.

[0097]

The material of the thermal lens forming layer may not be a single material and, for example, may be formed from a plurality of stacked solid layers, or may be formed from stacked solid and liquid layers.

[0098]

The thickness of the thermal lens forming layer may be between several nanometers to 1mm and, more preferably between several tens nanometers to several hundred  $\mu\text{m}$ , depending on the kind of the material used.

[0099]

As described above, it is preferable that the total thickness of the light-absorbing layer film obtained by stacking the thermal lens forming layer and one (1) or two (2) light-absorbing films does not exceed twice the confocal distance of the control light beam that has been converged.

[0100]

Although any of liquid, liquid crystal, and solid material can be used as the material of the thermal lens forming layer in the

light-absorbing layer film, for any of these materials, the refractive index of the material should exhibit a high degree of temperature dependence.

[0101]

5 The material property values of the temperature dependence of the refractive index of the typical organic compound liquids and water are described in literature [D. Solimini: J. Appl. Phys., vol. 37, 3314 (1966)]. The variation of refractive index with temperature for a light beam having the wavelength of 633nm [unit: 10 1/K] is larger in alcohols such as methanol ( $3.9 \times 10^{-4}$ ) than in water ( $0.8 \times 10^{-4}$ ), and is much larger in non-hydrogen-bonding organic solvents such as cyclopentane ( $5.7 \times 10^{-4}$ ), benzene ( $6.4 \times 10^{-4}$ ), chloroform ( $5.8 \times 10^{-4}$ ), carbon dichloride ( $7.7 \times 10^{-4}$ ).

[0102]

15 When liquid crystal is used as the material of the thermal lens forming layer in the light-absorbing layer film, any known liquid crystal can be used. Specifically, any of the following materials may be used as liquid crystal: various cholesterol derivatives; 20 4'-alkoxybenzylidene-4-cyanoanilines such as 4'-n-butoxybenzylidene-4-cyanoaniline and 4'-n-hexylbenzylidene-4-cyanoaniline; 4'-alkoxybenzylideneanilines such as 4'-ethoxybenzylidene-4-n-butyylaniline, 4'-methoxybenzylideneaminoazobenzene, 25 4-(4'-methoxybenzylidene)aminobiphenyl, and 4-(4'-methoxybenzylidene)aminostilbene; 4'-cyanobenzylidene-4-alkoxyanilines such as 4'-cyanobenzylidene-4-n-butoxyaniline and 4'-cyanobenzylidene-4-n-hexyloxyaniline; carbonated esters such 30 as 4'-n-butoxycarbonyloxybenzylidene-4-methoxyaniline and p-carboxyphenyl · n-amylcarbonate, n-heptyl · 4-(4'-ethoxyphenoxy carbonyl)phenylcarbonate; 4-alkylbenzoic acid · 4'-alkoxyphenyl esters such as 4-n-butylbenzoic acid ·

4'-ethoxyphenyl, 4-n-butylbenzoic acid • 4'-octyloxyphenyl, 4-n-pentylbenzoic acid • 4'-hexyloxyphenyl; azoxybenzene derivatives such as 4, 4'-di-n-amyloxyazoxybenzene, 4, 4'-di-n-nonyloxyazoxybenzene; 4-cyano-4'-alkylbiphenyls such as 5 4-cyano-4'-n-octylbiphenyl, 4-cyano-4'-n-dodecylbiphenyl: and ferroelectric liquid crystal such as (2S, 10 [0103]

3S)-3-methyl-2-chloropentanoic acid • 4', 4''-octyloxybiphenyl, 4'-(2-methylbutyl)biphenyl-4-carboxylic acid • 4-hexyloxyphenyl, and 4'-octylbiphenyl-4-carboxylic acid • 4-(2-methylbutyl)phenyl.

When a solid material is used as the material of the thermal lens forming layer in the light-absorbing layer film, an amorphous organic compound that causes little optical dispersion and has high dependence on temperature of the refractive index thereof is especially preferable. Specifically, similarly to the matrix material described above, compounds known as optical resins can be preferably selected and used. Variation with temperature of the refractive index [unit: 1/K] of optical resins is  $1.2 \times 10^{-4}$  for poly (methylmethacrylate),  $1.4 \times 10^{-4}$  for polycarbonate, and  $1.5 \times 10^{-4}$  for 15 polystyrene, according to the Technical Information Association publication "Development and Properties of the Latest Optical Resins and Design and Forming Techniques of High-Precision Parts" [Technical Information Association (1993), p. 35]. These resins can be preferably used as the material of the thermal lens forming 20 layer in the light-absorbing layer film.

[0104]

The above organic solvents have an advantage that the temperature dependence of refractive index thereof is higher than that of the above optical resins. However, the organic solvents 30 have a problem that the solvents boil when the increase in temperature resulting from irradiation with the control light beam heats to organic solvents to their respective boiling points (No such arises when a high-boiling point solvent is used). In contrast, an optical

resin from which volatile impurities have been thoroughly removed, for example, polycarbonate can be used under harsh conditions wherein the increase in temperature resulting from irradiation with the control light beam exceeds 250°C.

5 [0105]

[HEAT-INSULATING LAYER FILM]

When a gas is used as the heat-insulating layer film, in addition to air, inert gases such as nitrogen, helium, neon, argon, etc. can be preferably used.

10 [0106]

When a liquid is used as the heat-insulating layer film, any liquid can be used as long as the heat conductivity of the liquid is equal to that of the light-absorbing layer film or smaller than that of the light-absorbing layer film, the liquid transmits the 15 control light beam and the signal light beam, and the liquid does not melt or corrode the material of the light-absorbing layer film. For example, liquid paraffin can be used when the light-absorbing layer film comprises polymethylmethacrylate containing a cyanine pigment.

20 [0107]

When a solid is used as the heat-insulating layer film, any solid can be used as long the solid has a heat conductivity equal to that of the light-absorbing layer film (the light-absorbing film and the thermal lens forming layer) or smaller than that of the 25 light-absorbing layer film, transmits the control light beam and the signal light beam and does not react with the material of the light-absorbing layer film and the heat-conducting layer film. For example, polymethylmethacrylate not containing any pigment [having the heat conductivity of 0.15W/mK at 300K] can be used when the 30 light-absorbing layer film comprises polymethylmethacrylate containing a cyanine pigment.

[0108]

[MATERIAL OF HEAT-CONDUCTING LAYER FILM]

A material having larger heat conductivity than that of the

light-absorbing layer film is preferable as the material of the heat-conducting layer film, and any material can be used when the material transmits the control light beam and the signal light beam and does not react with the materials of the light-absorbing layer  
5 film and the heat-insulating layer film. Examples of usable materials having high heat-conductivity and small light absorption in wavelength bands in the visible spectrum include, for example, diamond [having a heat conductivity of 900W/mK at 300K], sapphire [having a heat conductivity of 46W/mK at 300K], a single quartz  
10 crystal [having a heat conductivity of 10.4W/mK at 300K in a direction parallel to c-axis], quartz glass [having a heat conductivity of 1.38W/mK at 300K], hard glass [having a heat conductivity of 1.10W/mK at 300K], etc.

[0109]

15 [MATERIAL OF LIGHT-ABSORBING LAYER]

In the thermal lens forming device used in the invention, a refractive-index-distributed-type lens functioning as means for converging the control light beam may be provided stacked on the side through which the control light beam enters the  
20 light-transmitting layer and materials. For this lens, solid materials similar to those of the heat-insulating layer film and/or the heat-conducting layer film can be used. The light-transmitting layer is provided not only for improving the efficiency of transmission of the control light beam and the signal light beam,  
25 but also for adhering the refractive-index-distributed-type lens as an element constituting the thermal-lens forming device. Among UV-curing-type resins and electron-beam-curing-type resins, those having high light transmittance in the wavelength bands of the control light beam and the signal light beam can be especially preferably employed.  
30

[0110]

[METHOD OF PRODUCING THERMAL LENS FORMING DEVICE]

A method of producing the thermal lens forming device used in the present invention can be selected in consideration of the

configuration of the thermal lens forming device and the materials used, and any suitable known method can be used.

[0111]

For example, when the material of the light absorbance used 5 for the light-absorbing film in the thermal lens forming device is a single crystal as described above, the light-absorbing film can be produced by cutting and polishing process the single crystal.

[0112]

In another example, when a thermal lens forming device having 10 a "heat-conducting layer film/light-absorbing film/thermal lens forming layer/light-absorbing film/heat-conducting layer film" configuration for which the light-absorbing film comprising the matrix material containing a pigment is produced, and in which the thermal lens forming layer comprising an optical resin and optical 15 glass as the heat-conducting layer film are combined, the light-absorbing film can be first produced on the heat-conducting layer film by any of the methods listed hereafter.

[0113]

A method may be used of forming the light-absorbing film by 20 coating a solution dissolving the pigment and the matrix material on a glass plate used as the heat-conducting layer film by a coating method such as an applying method, a blade coating method, a roll coating method, a spin-coating method, a dipping method, a spraying method, etc., or by printing the solution on the glass plate by 25 a printing method such as planography, relief printing, intaglio printing, mimeograph, screen printing, transferring, etc. In conjunction with any of these methods, a method of producing an inorganic matrix material by the sol-gel method can also be utilized for forming the light-absorbing film.

30 [0114]

Electrochemical film-forming techniques such as an electro-deposition method, an electrolytic polymerization method, a micelle electrolysis method (Japanese Patent Laid-Open Publication No. 1988-243298), etc. can be used.

[0115]

Furthermore, the Langmuir-Blodgett method that transfers a mono-molecular film formed on water can also be used.

[0116]

5 As methods of utilizing reactions of polymerization or condensation-polymerization of a raw material monomer, in the case where the monomer is liquid, a casting method, a reaction · injection molding method, a plasma polymerization method, a photo-polymerization method, etc. are among methods that can be  
10 employed.

[0117]

Additional applicable methods include a sublimation transfer method, a vapor-deposition method, a vacuum vapor-deposition method, an ion beam method, a sputtering method, a plasma polymerization  
15 method, a CVD method, an organic molecular beam vapor-deposition method, etc.

[0118]

A method of producing a composite-type optical thin film (Japanese Patent Registration No. 2599569) can be utilized, wherein  
20 an organic optical material having two (2) or more components in a solution state or a dispersed liquid state is deposited on a substrate by spraying the material into a high-vacuum container from a spray nozzle provided for each component and is heat-processed.

[0119]

25 The above-described methods of producing the solid light-absorbing film can also be preferably used in, for example, when the heat-insulating film comprising a solid organic high-molecular material.

[0120]

30 Next, when the thermal lens forming layer is produced using the thermo-plastic optical resin, an element having a configuration of "heat-conducting layer film/light-absorbing film/thermal lens forming layer/light-absorbing film/heat-conducting layer film" can be produced for use as the thermal-lens forming device using a vacuum

hot-pressing method (Japanese Patent Laid-Open Publication No. 1992-99609). That is, the laminated-layer-type thin film device having the above configuration can be produced by sandwiching powder or a sheet of the thermoplastic optical resin by two (2) 5 heat-conducting layer films (glass plates) having respectively a light-absorbing film formed on the surface thereof by the method described above, and heating and pressing these films and resin.

[0121]

[OPTICAL CELL]

10 The optical cell used in the pigment-solution-filling-type thermal lens forming device has a function of holding the pigment solution and another function of effectively providing a shape to the pigment solution and causing the pigment solution to work as a combined light-absorbing layer film and thermal lens forming layer 15 and, furthermore, has another function of receiving the converged and irradiated signal light beam and the control light beam and causing the signal light beam and the control light beam to propagate to the above-described light-responding composition, and yet another function of causing the diverging signal light beam to propagate 20 and exit after transmitting the light-responding composition.

[0122]

The shape of the optical cell used in the pigment-solution-filling-type thermal lens forming device can be roughly classified into an "outer shape" and an "inner shape".

[0123]

As the outer shape of the optical cell, a plate shape, a cuboidal shape, a columnar shape, a semi-cylindrical shape, a quadrangular-prism shape, a triangular-prism shape, etc. is used according to the configuration of the optically controlled 30 optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus of the invention.

[0124]

The inner shape of the optical cell is, i.e., the shape of a pigment solution filling unit, and effectively gives a shape to

the pigment solution. Specifically, the inner shape of the optical cell can be properly selected from, for example, a thin-film shape, a thick-film shape, a plate shape, a cuboidal shape, a columnar shape, a semi-cylindrical shape, a quadrangular-prism shape, a 5 triangular-prism shape, a convex-lens shape, a concave-lens shape, etc. according to the configuration of the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus of the invention.

[0125]

10 As the configuration and the material of the optical cell, any combination of configurations and materials that satisfies the following conditions can be used as desired:

[0126]

15 (1) the outer shape and the inner shape described above are precisely maintained under actual use conditions;

[0127]

(2) the material is inert to a pigment solution;

[0128]

20 (3) variations of composition resulting from emanation, permeation, or osmosis of the components constituting the pigment solution are prevented; and

[0129]

25 (4) the pigment solution is prevented from degrading due to contact with gases or liquids such as oxygen, water, etc. present in the environment during use.

[0130]

As specific examples of materials of the optical cell, materials that can be preferably used regardless of the kind of the pigment include various optical glass such as soda glass, boron silicate glass; quartz glass; sapphire, etc. When the solvent of the pigment solution is water or alcohol, plastics such as poly (methyl methacrylate), polystyrene, polycarbonate, etc. can also be used.

[0131]

However, among the conditions described above, the function

of preventing variation of the composition and degradation of the pigment solution may be exerted only within the range of the designed life as the thermal lens forming device.

[0132]

5 An optical cell having an integrated configuration incorporating other optical elements, i.e., the condenser lens, the light-receiving lens, the wavelength selecting and transmitting filter, etc. into the optical cell can be employed.

[0133]

10 [CALCULATION OF BEAM WAIST DIAMETER]

In order to effectively utilize the thermal lens effect in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention, it is preferable that the shape and the 15 size of the beam cross section of the signal light beam and the control light beam are set respectively such that the magnitude of the beam cross-sectional area of the signal light beam in the area having the highest photon density in the vicinity of a focal point (the point on which light is concentrated), i.e., the beam 20 waist, does not exceed the magnitude of the beam cross-sectional area of the control light beam at the beam waist.

[0134]

Now, a case wherein the distribution of amplitudes of the electric field of the beam cross section in the direction of traveling, 25 i.e., the energy distribution of the light flux is the Gaussian distribution, will be described. In the following description, although an example wherein a condenser lens (refractive-index-distributed-type lens) is used as beam converging means will be described, the same description can be applied even 30 when the converging means is a concave mirror or a refractive-index-dispersed-type lens.

[0135]

A view of a light beam flux and wave fronts 300 in the vicinity of a focal point 301 when a Gaussian beam is converged at a divergence

angle of  $2\theta$  by a condenser lens 31, etc. of Fig. 4 is shown in Fig. 17. Here, the position at which the diameter  $2\omega$  of the Gaussian beam having a wavelength  $\lambda$  reaches its minimum value is referred to as the beam waist, and the beam waist diameter is hereinafter represented by  $2\omega_0$ .  $2\omega_0$  does not become zero (0) and has a finite value because of the diffraction effect of light. The definition of beam radiiuses  $\omega$  and  $\omega_0$  is that these lengths are obtained by measuring distances from the beam center to the position at which energy becomes  $1/e^2$  ( $e$  is the base of the natural logarithm) relative to the energy at the beam central portion of the Gaussian beam, and the beam diameter is represented by  $2\omega$  or  $2\omega_0$ . Obviously, the photon density is highest at the center of the beam waist.

[0136]

For a Gaussian beam, a beam divergence angle  $\theta$  at a position sufficiently far away from the beam waist thereof is correlated with the wavelength  $\lambda$  thereof and the beam waist radius  $\omega_0$  by the following Equation [4].

[0137]

(Math 1)

$$20 \quad \pi \cdot \theta \cdot \omega_0 = \lambda \dots [4]$$

Here,  $\pi$  is the ratio of the circumference of a circle to the diameter thereof.

[0138]

When the above Equation [4] is used under the condition that is sufficiently far away from the beam waist, the beam waist radius  $\omega_0$  of the beam waist created by concentrating the light beam using a condenser lens can be calculated from the beam radius  $\omega$  of the light beam entering into the condenser lens and the numerical aperture and the focal distance of the condenser lens.

30 [0139]

Furthermore, the beam waist diameter  $2\omega_0$  in the case where a parallel Gaussian beam (wavelength  $\lambda$ ) having a beam radius  $\omega$  is converged by a condenser lens having an effective aperture radius "a" and a numerical aperture NA can be generally represented by

the following Equation [5].

[0140]

(Math 2)

$$2\omega_0 \doteq k \cdot \lambda/NA \dots [5]$$

5 [0141]

Here, because a coefficient  $k$  can not be solved algebraically, the coefficient  $k$  can be determined by carrying out numerical analytical calculation of the optical intensity distribution on a lens imaging plane.

10 [0142]

When the numerical analytical calculation is carried out changing the ratio of the beam radius  $\omega$  entering the condenser lens and the effective aperture radius  $a$  of the condenser lens, the value of the coefficient  $k$  in the Equation [5] can be obtained as follows.

15 [0143]

(Math 3)

When  $a/\omega = 1$ ,  $k \doteq 0.92$ ;

When  $a/\omega = 2$ ,  $k \doteq 1.3$ ;

When  $a/\omega = 3$ ,  $k \doteq 1.9$ ; and

20 When  $a/\omega = 4$ ,  $k \doteq 3$ .

[0144]

That is, as the beam radius  $\omega$  becomes smaller than the effective aperture radius  $a$  of the condenser lens, the beam waist radius  $\omega_0$  becomes larger.

25 [0145]

For example, when a signal light beam having a wavelength of 780nm is converged using a lens having a numerical aperture of 0.25 and an effective aperture radius of approximately 5mm as a condenser lens, and the beam radius  $\omega$  of a beam entering the condenser lens is 5mm, then  $a/\omega$  is approximately one (1) and the beam waist radius  $\omega_0$  is calculated to be  $1.4\mu\text{m}$ . Similarly, when  $\omega$  is 1.25mm, then  $a/\omega$  is approximately four (4) and  $\omega_0$  is calculated to be  $4.7\mu\text{m}$ . Similarly, when the control light beam having a wavelength of 633nm is converged,

if the beam radius  $\omega$  is 5mm, then,  $a/\omega$  is approximately one (1) and the beam waist radius  $\omega_0$  is  $1.2\mu\text{m}$ ; if  $\omega$  is 1.25mm, then,  $a/\omega$  is approximately four (4) and  $\omega_0$  is  $3.8\mu\text{m}$ .

[0146]

5 As can be clearly seen from the above examples of calculations, in order to minimize the cross-sectional area of a light beam at the area having the highest photon density in the vicinity of a focal point of a condenser lens, i.e., the beam waist, the beam diameter may be expanded (beam expanding) until the intensity 10 distribution of the light beam entering the condenser lens becomes almost that of a plane wave. Furthermore, it is understood that the beam waist diameter becomes smaller as the wavelength of the light becomes shorter when the beam diameters of the beams entering the condenser lens are the same.

15 [0147]

As described above, in order to effectively utilize the thermal lens effect in the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus and the optical signal optical path switching method of the invention, it is preferable that the 20 shape and the size of the beam cross section of the signal light beam and the control light beam are set respectively such that the magnitude of the beam cross-sectional area of the signal light beam in the area having the highest photon density in the vicinity of a beam waist does not exceed the magnitude of the beam cross-sectional 25 area of the control light beam at the beam waist. In a case wherein Gaussian beams are used as both the signal light beam and the control light beam, it can be ensured that the magnitude of the beam cross-sectional area of the signal light beam in the area having the highest photon density in the vicinity of the beam waist will 30 not to exceed the magnitude of the beam cross-sectional area of the control light beam at the beam waist thereof by adjusting the beam diameters of the signal light beam and the control light beam in the state where these light beams are parallel beams respectively before being converged by converging means such as a condenser lens,

etc., in response to the wavelengths of these beams, by expanding the beam when necessary, according to the above description and above equations for calculation. As means for expanding a light beam, known means such as, for example, a Keplerian optical system 5 comprising two (2) convex lenses may be used.

[0148]

[CALCULATION OF CONFOCAL DISTANCE  $Z_c$ ]

In general, a converged Gaussian light beam can be approximated as a parallel light beam in the vicinity of the beam waist of the 10 light flux converged by converging means such as a convex lens, i.e., a section between the confocal distances  $Z_c$  sandwiching a focal point. The confocal distance  $Z_c$  can be represented by Equation 15 [6] that uses the ratio of the circumference of a circle to the diameter thereof  $\pi$ , the beam waist radius  $\omega_0$ , and the wavelength  $\lambda$ .

[0149]

(Math 4)

$$Z_c = \pi \omega_0^2 / \lambda \dots [6]$$

[0150]

20 By substituting the Equation [5] for  $\omega_0$  of the Equation [6], an Equation [7] is obtained.

[0151]

(Math 5)

$$Z_c \doteq \pi (k/NA)^2 \lambda / 4 \dots [7]$$

25 [0152]

For example, when a signal light beam having a wavelength of 780nm is converged using a lens having a numerical aperture of 0.25 and an effective aperture radius of approximately 5mm as a condenser lens, if the beam radius  $\omega$  of the light beam entering the condenser 30 lens is 5mm, then,  $a/\omega$  is approximately one (1), the beam waist radius  $\omega_0$  is  $1.4\mu\text{m}$  and the confocal distance  $Z_c$  is calculated to be  $8.3\mu\text{m}$  and, if  $\omega$  is 1.25mm, then,  $a/\omega$  is approximately four (4),  $\omega_0$  is  $4.7\mu\text{m}$  and the confocal distance  $Z_c$  is calculated to be  $88\mu\text{m}$ .

Similarly, when the control light beam having a wavelength of 633nm is converged, if the beam radius  $\omega$  is 5mm, then,  $a/\omega$  is approximately one (1), the beam waist radius  $\omega_0$  is  $1.2\mu\text{m}$  and the confocal distance  $Z_c$  is calculated to be  $6.7\mu\text{m}$  and, if  $\omega$  is 1.25mm, then,  $a/\omega$  is 5 approximately four (4),  $\omega_0$  is  $3.8\mu\text{m}$  and the confocal distance  $Z_c$  is calculated to be  $71\mu\text{m}$ .

[0153]

#### [OPTIMAL FILM THICKNESS OF LIGHT-ABSORBING LAYER FILM]

Experimental results determined by producing samples while varying the thickness of the thermal lens forming device without changing the thickness of the one (1) or two (2) light-absorbing films constituting the light-absorbing layer film and conducting experiments for a plurality of thermal lens forming devices having different thickness and a constant optical density revealed the optical response speed of the thermal lens effect was sufficiently high when the a distance twice as large as the confocal distance  $Z_c$  calculated as described above was set as the upper limit of the film thickness of the light-absorbing layer film.

[0154]

As to the lower limit of the film thickness of the light-absorbing layer film, it is preferable that the light-absorbing layer film be made as thin as possible while preserving the thermal lens effect.

[0155]

#### [FILM THICKNESS OF HEAT-INSULATING LAYER FILM]

Optimal values for the film thickness of the heat-insulating layer film (the lower limit value and the upper limit value) are those that maximize the magnitude or the speed of the optical response. These values can be determined experimentally according to the configuration of the thermal lens forming device, the material and the thickness of the light-absorbing layer film, the material of the heat-insulating layer film, the material and the thickness of the heat-conducting layer film, etc. For example, in a case wherein, using the ordinary boron silicate glass as the heat-conducting layer

film, polycarbonate as the material of the heat-insulating layer film and the thermal lens forming layer, and a vapor-deposited film of platinaphthalocyanine as the light-absorbing film, a thermal lens forming device is produced, that has a configuration of glass  
5 (heat-conducting layer film having a film thickness of 150 $\mu$ m)/polycarbonate resin layer (heat-insulating layer)/platinaphthalocyanine-vapor-deposited film (light-absorbing film having a film thickness of 0.2 $\mu$ m)/polycarbonate resin layer (thermal lens forming layer having 10 a thickness of 20 $\mu$ m)/ platinaphthalocyanine-vapor-deposited film (light-absorbing film having a film thickness of 0.2 $\mu$ m/ polycarbonate resin layer (heat-insulating layer)/glass (heat-conducting layer film having a thickness of 150 $\mu$ m), the thickness of the heat-insulating layer film is preferably from 5nm 15 to 5 $\mu$ m and, more preferably, is 50nm to 500nm.

[0156]

#### [FILM THICKNESS OF HEAT-CONDUCTING LAYER FILM]

Optimal values for the thickness of the heat-conducting layer film (in this case, the lower limit value) are values that maximize 20 the magnitude or the speed of the optical response. Such values can be determined experimentally according to the configuration of the thermal lens forming device, the material and the thickness of the light-absorbing layer film, the material and the thickness of the heat-insulating layer, the material of the heat-conducting 25 layer film, etc. For example, in the case where, using the ordinary boron silicate glass as the heat-conducting layer film, polycarbonate as the material of the heat-insulating layer film and the thermal lens forming layer, and a vapor-deposited film of platinaphthalocyanine as the light-absorbing film, a thermal lens 30 forming device is produced, that has a configuration of glass (heat-conducting layer film having a film thickness of 150 $\mu$ m)/polycarbonate resin layer (heat-insulating layer)/platinaphthalocyanine-vapor-deposited film (light-absorbing film having a film thickness of

0.2 $\mu$ m)/ polycarbonate resin layer (thermal lens forming layer having a thickness of 20 $\mu$ m)/ platinaphthalocyanine-vapor-deposited film (light-absorbing film having a film thickness of 0.2 $\mu$ m/ polycarbonate resin layer (heat-insulating layer)/glass  
5 (heat-conducting layer film having a thickness of 150 $\mu$ m), the lower limit of the thickness of the heat-conducting layer film is preferably 10 $\mu$ m and, more preferably, 100 $\mu$ m. The upper limit of the thickness of the heat-conducting layer film in terms of the magnitude or the speed of the optical response is not especially constrained. However,  
10 it is necessary to design this thickness matching this thickness with the types, focal distances and working distances of the condenser lens and the light-receiving lens used.

[0157]

15 [OPERATION PRINCIPLE AND OPERATING MODE OF OPTICAL PATH SWITCHING MECHANISM USING THERMAL LENS EFFECT]

Views for describing the operation principles of an optical path switching mechanism 91 as the minimum unit that configures an optical switch used in the present invention are shown in Figs. 11, 12, 13, and 14. In these figures, a thermal lens forming device 1 has a structure in which a heat-conducting layer film 501, a light absorbing layer film and thermal lens forming layer 502, and a heat-conducting layer film 503 are stacked in that order. A Gaussian beam, in which the intensity distribution on a cross section of the laser beam used as a control light beam shows a Gaussian distribution, is employed. Converging a Gaussian beam using a condenser lens such as a convex lens, the optical intensity distribution at the beam waist (concentrating point; focal point) becomes a Gaussian distribution.

[0158]

30 As shown Fig 11, when a collimated parallel light beam 110 (signal light beam or control light beam) is converged by a condenser lens 31 and irradiated on a light absorbing layer film and a thermal lens forming layer 502 in a thermal lens forming device 1, the control light beam converged and irradiated as the parallel light beam is

absorbed in the light absorbing layer film, the light energy is converted to thermal energy, and the temperature of the thermal lens forming layer in the vicinity of and adjacent to the light absorbing layer film where light is absorbed is increased, resulting  
5 in decrease of the refractive index thereof. When a light beam having Gaussian-distributed optical intensity as described above is irradiated, the central portion of the Gaussian distribution having the strongest optical intensity is converged and the area being irradiated with the light beam becomes the center of light absorption  
10 and, in this area, the temperature becomes the highest and the refractive index becomes the lowest. The absorbed light changes into heat from the central portion of the light absorption toward the outer circumference and, furthermore, the refractive index of the light absorbing layer film containing the thermal lens forming  
15 layer is varied spherically from the center of the light absorption toward the exterior due to the heat conveyed to the periphery, and a distribution of refractive index having low refractive index at the center of the light absorption and higher refractive index toward the exterior is created, and locally this distribution functions  
20 as a concave lens. In practice, the control light beam is condensed by a condenser lens 31 or the like and is irradiated into the light absorbing layer film containing the thermal lens forming layer. Then, light absorption occurs multiply in the traveling direction of the converged light beam and the light flux of the traveling  
25 control light beam itself is also multiply deformed by the thermal lens formed. Therefore, the thermal lens effect that is observed here is different from the effect caused by a single concave lens as described below.

[0159]

30 When the control light beams having a wavelength in a absorption band of the light absorbing layer film and the signal light beams having a wavelength in a transmission band are irradiated simultaneously such that these light beams focus at a position 5 close to the entering surface of the light absorbing layer film

of the thermal lens forming device 1 as shown in Fig.11(a), the signal light beams exit with a divergence angle larger than that of ordinary exiting light beams 200 as exiting light beams 201 being spread such that the cross section of the light beam spreads in 5 an annular shape, due to a thermal lens 50 formed at a position close to the entering surface by the control light beams as shown in Fig. 12(a). The photographs of signal light beam cross-sections shot from the rear side after projecting the signal light beam 201 or 200 that exited from the thermal lens forming device 1 on a 10 semitransparent screen placed at a distance of about 50 cm are shown in Figs. 18(a) and 18(b). As shown in Fig. 18(b), the cross-section of the signal light beam 200 exited at an ordinary divergence angle from the thermal lens forming device 1 has a circular shape with a diameter of  $d_2$  on the screen. Whereas, when the control light 15 beam and the signal light beam are irradiated simultaneously such that these light beams focus at a position 5 close to the entering surface of the light absorbing layer film of the thermal lens forming device 1, the cross-section of the exited signal light beam 201 diffused so that the cross section of the light beam spreads in 20 an annular shape through the thermal lens 50 formed at a position close to the entering surface is, as shown in Fig. 18(a), projected on the screen as the ring having an outer diameter of  $d_3$  and an inner diameter of  $d_4$ . As clearly observed in Fig. 18, both of the outer diameter  $d_3$  and the inner diameter of  $d_4$  are larger than a circular 25 beam diameter  $d_2$  of the signal light beam when a control light beam is not irradiated.

[0160]

On the other hand, as shown in Fig. 11(b), when the control light beams and the signal light beams are irradiated simultaneously 30 such that these light beams focus at a position 6 close to the exiting surface of the light absorbing layer film of the thermal lens forming device, the signal light beam exits as a signal light beam 119 that has been converged by a thermal lens 60 formed at a position close to the exiting surface by the control light beam as shown in Fig.

12(b). Fig. 18(c) shows a photograph of a cross-section of the exited signal light beam 119 that exited from the thermal lens forming device 1, and projected on the semitransparent screen, then shot from the rear side. When the control light beams and the signal 5 light beams are irradiated simultaneously such that these light beams focus at a position 6 close to the exiting surface of the light absorbing layer film of the thermal lens forming device 1, the cross section of the exited signal light 119 that is converged by the thermal lens 60 formed at a position close to the exiting 10 surface formed by the control signal beam and exits unchanged, and is projected on the screen as a circular shape with an outer diameter of  $d_0$ . As clearly shown in Fig. 18, the outer diameter  $d_0$  is smaller than the diameter  $d_2$  of the circular shaped beam of the signal light beam when a control light beam is not irradiated. The luminance 15 of the converged and exited signal light beam 119 is significantly high, therefore a neutral density filter was provided before the screen to prevent halation when projecting the signal light beam 119 projected on the screen.

[0161]

20 In either of the examples shown in Figs. 11(a) and 11(b), the signal light beam only exits as the exited light beam 200 at an ordinary divergence angle without being affected by the thermal lens 50 or 60 when no control light beam is irradiated, as shown by dotted lines in Figs. 12(a) and 12(b).

25 [0162]

Optical intensity distribution difference in the cross section of the signal light beam corresponding to the presence/absence of thermal lens effect, and differences in beam waist (concentrating point; focal point) position in the light absorbing layer film of 30 the thermal lens forming device can be measured in any of the following manners. For example, in an experimental test, the apparatus whose schematic views are shown in Figs. 4, 13, or 14, the numerical aperture was set to 0.55 for the light receiving lens 41 while the numerical aperture to 0.25 for the condenser lens 31, an optical intensity

distribution measuring device 700 was provided instead of a mirror with a hole 61, as shown in Fig. 19, then all the signal light beams transmitted through the thermal lens forming device 1 were received by the light receiving lens 41 to cause the light beam enter into a light receiving unit 701 (effective diameter: 20 mm), then the optical intensity distribution at the cross section of the signal light beam was measured. The measured results are shown in Figs. 20, 21 and 22. Here, as shown in Fig. 19, the optical intensity distribution measuring device is a device that is provided with a first slit 702 having a width of 1mm to the light receiving unit 701 (having an effective diameter of 20mm), moves a second slit 703 having a width of 25 $\mu$ m at a constant velocity in a direction of the length of the first slit, i.e. from a point 710 toward a point 720 in Fig. 19 and measures the intensity of a light beam having passed through a rectangular window of a size of 1mm x 25 $\mu$ m formed by the two slits, corresponding to the moved position of the window. In order to measure the optical intensity corresponding to the moved position of the window, for example, output of a detector receiving the light beam having passed through the window may be recorded on a storage oscilloscope synchronized with the moving velocity of the second slit 703. Figs. 20 to 22 show the optical intensity distribution on a light beam cross sectional planes of the signal light beams recorded on a storage oscilloscope as described above, wherein the axis of abscissa (the position in the light beam cross sectional plane) corresponds to positions represented by coordinates defining the center of the light receiving unit 701 as zero, the direction from the center to the point 710 in Fig. 19 as the negative direction, and the direction from the center to the point 720 in Fig. 19 as the positive direction, and the axis of ordinate represents optical intensity.

[0163]

Fig. 20 corresponds to the case shown in Fig. 11(a) and Fig. 13(a) and shows an optical intensity distribution on the beam cross-section of the signal light beams when the control light beams

do not enter the thermal lens forming device 1 but only the signal light beams enter the device 1. The optical intensity distribution in this case is a distribution wherein the intensity of the central portion is strong and the intensity becomes weaker as the position 5 becomes closer to the circumference (generally, a Gaussian distribution). Therefore, when the hole-provided mirror 61 having a hole 161 of a sufficient size is disposed as shown in Fig. 13(a), all of the signal light beams 111 can pass through the hole 161 of the hole-provided mirror. Here, representing the beam diameter 10 of the signal light beam entering the condenser lens 31 (having the focal distance of  $f_1$ ) as parallel light beam as  $d_1$  and the beam diameter of the signal light beam 111 converted into a parallel beam by the light receiving lens 41 (having the focal distance of  $f_2$ ) as  $d_2$ ,

15 (Math 6)

$$f_1:f_2 = d_1:d_2 \dots [8]$$

and, therefore,  $d_2$  can be obtained by the following equation.

[0164]

(Math 7)

20  $d_2 = (f_2/f_1) \times d_1 \dots [9]$

[0165]

The hole-provided mirror 61 is installed at an angle of 45 degrees against the optical axis of the signal light beams. The cross section of the signal light beam passing through the hole 25 161 is circular. Therefore, the shape of the hole 161 must be an ellipse whose minor axis  $D_1$  and major axis  $D_2$  must satisfy the relationship defined by the following equation [10].

[0166]

(Math 8)

30  $D_2 = D_1 \times \sqrt{2} \dots [10]$

[0167]

Here, although a minor axis  $D_1$  of the elliptic hole 161 of the hole-provided mirror 61 larger than the beam diameter  $d_2$  of the signal light beams 111 obtained from equation [9] may be sufficient,

when  $D_1$  is too large, a portion of the signal light beams expanded in an annular shape due to the irradiation of the control light beam will also pass through the hole 161. Thus, the optimal value of  $D_1$  is a value 1.01 to 1.2 times and, more preferably, 1.02 to 5 1.1 times  $d_2$ .

[0168]

Fig. 21 corresponds to the optical system arrangements shown in Figs. 11(a), 12(a), and 13, and shows the optical intensity distribution on a beam cross-sectional plane of the signal light beam when the beam waist (condensing point: focal point) is set 10 at the position 5 (on the entering side of the light beam) close to the condenser lens 31 of the thermal lens forming device 1 and the control light beam is irradiated. The resulting optical intensity distribution shows that optical intensity is weak in the 15 central portion thereof and becomes stronger in an annular shape toward the circumference thereof. The optical intensity in the central portion on the cross-sectional plane of the signal light beam is reduced depending on the optical intensity of the control light beam and the positional relation between the thermal lens 20 forming device 1 and the focal point, and approaches zero as the optical intensity of the control light beam is increased. The position at which the optical intensity of the signal light beam becomes maximal is a value (a diameter of approximately 15mm) that 25 is larger than the original beam diameter.

[0169]

Fig. 22 corresponds to the optical system arrangements shown in Fig. 11(b), 12(b), and 14, and shows the optical intensity distribution on a beam cross-sectional plane of the signal light beam when the beam waist (condensing point: focal point) is set 30 at the position 6 (on the exiting side of the light beam) close to the light receiving lens 41 of the thermal lens forming device 1 and the control light beam is irradiated. In this case optical intensity at the central portion is stronger than the optical intensity at the center portion (Fig. 21). The optical intensity

in the central portion of the beam cross-sectional plane of the signal light beam depends on the optical intensity of the control light beam and positional relation between the thermal lens forming device 1 and the focal point 6, but reaches to several times as 5 much as the intensity measured when the control light beam is not irradiated.

[0170]

Therefore, if a hole-provided mirror 61 is disposed in this case, the majority of the signal light beam passes through the hole 10 161 of the hole-provided mirror. Here, when the size of the hole 161 of the hole-provided mirror 61 (and 62 and 63) is optimized, the portion of the signal light beam that is reflected by the hole-provided mirror 61 can be substantially reduced to zero. However, even when the size of the hole 161 of the hole-provided 15 mirror 61 is optimized, when the control light beams are not irradiated, the central portion of the signal light beam as shown in Fig. 14(a) is not prevented from passing through the hole 161 as a leaked signal light beam 118, and occurrence of cross-talk cannot be prevented.

[0171]

However, such a leaked signal light beam can be reduced to 20 near zero by changing the optical intensity distribution on the on the cross-sectional plane of the signal light beam that enters into the thermal lens forming device. That is, as shown in Fig. 6, it is easy that, after the signal light beam 110 exited from 25 the optical path 1110 is shaped using the collimating lens 30, to vary the optical intensity distribution on the cross-sectional plane of the signal light beam to an annular distribution corresponding to Fig. 18(a) and Fig. 21, using a beam-cross-section shaping-into-ring lens group 321 comprising a 30 circular-cone-prism-type lens, etc. After the signal light beam 110 having such an optical intensity distribution on the cross-sectional plane thereof has been converged using condenser lens 31 such that the signal light beam 110 passes through the focal point position 6 (Fig. 14(a)) and the signal light beam 110 has

passed through the thermal lens forming device 1, the signal light beam 110 is restored to a parallel light beam by the light receiving lens 41. Then, the optical intensity distribution of the beam cross-sectional plane of the signal light beam 110 is an annular 5 shape having a stronger intensity on the periphery thereof, and intensity near zero in the central portion as corresponding to Fig. 21. Therefore, when the hole-provided mirror 61 is disposed, the leak of the signal light beam passing through the hole 161 can be substantially eliminated. Even when the optical intensity 10 distribution on the beam cross-sectional plane of the signal light beam assumes such an annular shape, when the thermal lens 60 is transiently formed by irradiating the control light beam as shown in Fig. 14(b), the optical intensity distribution on the beam cross-sectional plane of the signal light beam becomes a sharp-beam 15 shape and the signal light beam passes through the hole 161 of the hole-provided mirror 61 as a converged straight-traveling signal light beam 119.

[0172]

To summarize, in an optical system configuration in Fig. 13, in 20 response to the presence/absence of control light beam irradiation, the optical intensity distribution on the beam cross-sectional plane of the signal light beam can be switched between the annular distribution (when the control light beam is irradiated) shown in Fig. 21 and the Gaussian distribution (when the control light beam 25 is not irradiated) shown in Fig. 20, then switching of optical paths becomes possible by taking out the light beam individually using a hole-provided mirror suitable for the shape of the optical intensity distribution on the beam cross-sectional plane of the signal light beam.

30 [0173]

On the other hand, in an optical configuration in Fig. 14, by adjusting the focal points of the control light beam and the signal light beam to be positioned at the position 6 close to the exiting side of the thermal lens forming device and, furthermore,

by shaping the optical intensity distribution on the beam cross-sectional plane of the signal light beam into annular, the optical path of the signal light beam can be switched by 90 degrees from the original traveling direction thereof and the signal light beam can be caused to exit, when the control light beam is not irradiated, and the signal light beam can be caused to travel straight when the control light beam is irradiated.

[0174]

[METHOD OF COMBINING A PLURALITY OF OPTICAL PATH SWITCHING  
10 MECHANISMS]

When more than one optical path switching mechanism (91, etc.) comprising a thermal lens entering light beam condenser lens (31, etc.), a thermal lens forming device (1, etc.), a thermal lens exiting light beam receiving lens (41, etc.), a wavelength selecting and 15 transmitting filter (81, etc.), and a hole-provided mirror (61, etc.) is used by coupling with the space coupling method, three combinations of an operating mode where an exiting signal light beam exits at an angle larger than ordinary divergence angle, and an operating mode where an exiting signal light beam exits while 20 being converged can be used. These are the following:

[0175]

(1) Combination of only the operating modes where an exiting signal light beam exits at an angle larger than ordinary divergence angle;

[0176]

25 (2) Combination of only the operating modes where an exiting signal light beam exits while being converged; or

[0177]

30 (3) Combination of the operating mode where an exiting signal light beam exits at an angle larger than ordinary divergence angle comes before the operating mode where an exiting signal light beam exits while being converged.

[0178]

In regards to the third combination listed above, if an operating mode is enabled wherein the optical path switching

mechanism at the first stage simultaneously irradiate the control light beam and the signal light beam so that the beam waist (focal point) is positioned at position 5 that is close to the entering surface of the light absorbing layer film of the thermal lens forming device 1, as shown in Fig. 11(a), then combining two optical path switching mechanisms efficiently without using the beam-cross-section shaping-into-ring lens group 321, by employing the operating mode where the exiting signal light beam spreads through thermal lens effect to exit with a divergence angle larger than that of ordinary exiting light beam, then the signal light beam with annular cross-section is reflected by the hole-provided mirror to switch the path, and the optical path switching mechanism at the second stage simultaneously irradiate the control light beam and the signal light beam so that the beam waist (focal point) is positioned at position 6 that is close to the exiting surface of the light absorbing layer film of the thermal lens forming device 1, as shown in Fig. 11(b), and the exiting signal light being converged by the thermal lens effect exits with a small cross section. The details of this combination will be described in Example 4, below.

20 [0179]

[HOLE-PROVIDED MIRROR]

A hole-provided mirror 61 is, for example, disposed at an angle of 45 degrees to the optical axis of a signal light beam. As the mirror surface of the hole-provided mirror 61, a surface that is 25 a dielectric multi-layer film produced on a glass surface by a sputtering method and is adjusted such that the reflectivity thereof becomes maximal when the wavelength of the signal light beam is used. The hole 161 portion of the hole-provided mirror 61 is produced by making an elliptic hole through a glass plate inclined at an 30 angle of 45 degrees. Although instead of making a hole, the elliptic reflecting film may be eliminated, a hole is preferable because the glass surface reflects several percent of the incident light, causing attenuation and cross-talk of the signal light beam. In order to prevent stray light caused by optical dispersion or the

like, it is preferable that the inner surface of the hole is processed to provide no reflection. Furthermore, the reflecting film is not limited to a dielectric multi-layer film, but may be any material that reflects the control light beams and the signal light beams used therefore and, thus may be gold, silver, etc.

[0180]

[TIME-DIVISION "MULTIPOINT-TO-POINT" TWO-WAY OPTICAL COMMUNICATION]

In an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus and distribution method of the present invention, optical communication paths of a data server device side and a particular client device side becomes open in both directions only while an optical switch is operating, due to the operation principle of the optical switch that is used. Therefore, in order to allow a particular client to transmit a data transmission request at a desired time via the optical communication path, the data server device must repeatedly transmit at least a control light beam optical destination tag for a predetermined period continuously to individual client devices in turn. Otherwise, optical communication using another optical communication path, or electric communication using a conventional local area network must be carried out from the client devices to the data server device.

[0181]

Opening optical signal paths between a plurality of clients and a single data server at a certain interval in turn is the time-division type "multipoint-to-point" two-way optical communication.

[0182]

The time divided interval, optical packet data size, optical switch ON/OFF response rate, and the number of clients relate to each other. For example, when the ON/OFF response rate of an optical switch is sufficiently high, the data volume of an optical packet will not become insufficient, even when the number of clients increases, however, the number of client devices to which sufficient

data volume can be provided will be limited if a longer time is required for ON/OFF response of the optical switch.

[0183]

As described in the Examples, the optical switch used in the present invention is capable of carrying out ON/OFF operation sufficiently in 1 (one) millisecond, thus, the optical switch can provide optical signal paths, for example, to 8 clients, by assigning 124 millisecond for each of the clients by dividing one second into eight (8) time units. Therefore, if the modulation speed of an optical signal transmitting unit 1120 at the data server side is 10 Gbps, the data volume of an optical packet including an optical sequence tag can be set to 1.24 Gbps (155 MB). This is equivalent to a case wherein the data communication volume of 100 or more high-definition still color images, each having 2272 x 1704 pixels with 32 bits of color information per pixel, can be transmitted in one second to each of 8 clients. That is, for example, a 3D image of a human body represented by laminating 1000 monochrome high-definition images can be distributed to 8 locations in one second and uncompressed digital high-vision color moving images can be distributed to 8 locations in one second. When the modulation velocity of an optical signal transmitting unit is increased from 10 Gbps to 40 Gbps, four times the data volume can be distributed.

[0184]

The upper limit of the number of clients is determined by the attenuation of a signal light beam that is caused by multi-staged use of an optical switch, however, the switch can normally be used for 2 to 8 clients without difficulty, and, depending on the transmission loss of the optical fiber that is used, the switch can in most cases be used for 16 to 32 client devices. When using 32 client devices, the effective time width of an optical packet is 30.25 millisecond ( $= (1000/32) - 1$ ), however, a data volume of 1.21 GB can be secured for an optical packet by increasing the modulation velocity of the optical signal transmitting unit 1120 to 40 Gbps.

[0185]

The switch is a time-division type multipoint-to-point two-way optical communication switch, and the data transfer rate  $D_s$  of an electric signal path 1400 from the data server device 1000 to the optical signal transmitting unit 1120 satisfying the relation 5 expressed by equation [11] is sufficient; where  $D_c$  represents the data transfer rate of an electric signal path 1401 or the like at the client device side and  $N_c$  represents the number of client devices:

[0186]

(Math 9)

10 
$$D_s \leq D_c \times N_c \quad \dots [11]$$

[0187]

When  $D_s$  is 10 Gbps, the number of client devices is 4, and the information contained in optical packets received by the optical signal receiving unit 1131, etc. at the client device side is converted 15 to electrical signals, stored temporarily, and transmitted as electric signals, a data transfer rate  $D_c$  of an electric signal path 1401, etc. at the client device side of 2.5 Gbps or higher is sufficient. However, the optical signal receiving rate of the optical signal receiving units 1131, 1132, 1133, etc. at the client device side 20 needs to be  $D_s$  or higher. That is, in the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of the present invention, the data transfer rate of an electric signal path on the client side can be reduced to 1/2 or smaller than the data transfer rate on the data server device side when two or more 25 client devices are connected, thus the cost for an apparatus can be reduced, as compared with a case wherein all of the client devices are connected via components with high data transfer rates.

[Examples]

[0188]

30 The embodiments according to the present invention will be described in details with reference to experimental Examples.

[0189]

[Example 1]

A schematic view of the configuration of an optical component

elements used in an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 1 is shown in Fig. 4a. In addition to optical component elements shown in Fig. 4a, the optically controlled 5 optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 1 comprises a data server device, an electric circuit in the data communication unit and a power supply thereof, a client device, an electric signal path connecting the data server device and data communication unit, an electric signal path connecting the data 10 communication unit and the client unit, and a power supply.

[0190]

Fig. 4a illustrates a schematic view of a partial configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus, showing a portion of an optical signal 15 transmitting unit 1120, details of an optical switch 1101, and optical signal paths 1110, 1111, 1112 and 1113.

[0191]

As the data server device, a single commercially marketed ordinary computer unit having a central processor unit with a clock 20 frequency of 3 GHz for controlling an input/output control unit 1040, a semiconductor memory device with a capacity of 2 GB that operates as a transmission data storage unit 1010, and a hard disk storage device with a capacity of 800 GB, was used.

[0192]

As the client devices, four commercially available ordinary 25 computer units, each having a central processor unit with a clock frequency of 2.8 GHz for controlling an input/output control unit 1241, a semiconductor memory device with a capacity of 1 GB that operates as a received data storage unit 1211, and a hard disk storage 30 device with a capacity of 250 GB, were used.

[0193]

The electric circuit and the power supply of the data communication unit at the data server device side includes a data transmission/receipt control unit 1140, the control electronic

circuit for an optical signal transmitting unit 1120, the light receiving device such as an optical signal receiving unit 1130 and 1131, etc. and a control electronic circuit, and a power supply therefore. As the electronic circuits for these components at the 5 data server device side, the transmitting unit and receiving unit of a commercially available optical transceiver device with a data communication speed of 10 Gbps that uses infrared laser was used. The power supply was a constant voltage power supply which provided sufficient voltage and current.

10 [0194]

The electric circuit and the power supply of the data communication unit at the client device side includes a data transmission/receipt control unit 1141, 1142, 1143, or the like, a control electronic circuit for an optical signal transmitting 15 unit 1121, a light receiving device such as an optical signal receiving unit 1131, 1132, 1133, or the like and a control electronic circuit therefore, and a power supply therefore. As the electronic circuits for these components at the client device side, the transmitting unit and the receiving unit of a commercially marketed optical 20 transceiver device with a data communication speed of 10 Gbps that uses infrared laser was used, so that optical packet information was converted to electric signals, temporarily stored, then transmitted as electric signals. The power supply was a constant voltage power supply that provided sufficient voltage and current 25 capacity.

[0195]

As the control electronic circuit for a control light beam light source, a constant voltage power supply and the transmission unit of an optical transceiver device that are suitable for the 30 laser diode to be used are combined and used.

[0196]

As an electric signal path 1400 that connects the data server device and the data communication unit, one having a data transfer rate of 10 Gbps and complying with the applicable Telecommunication

Standards was used in combination with the electric signal input/output unit of the optical transceiver having a data transfer rate of 10 Gbps. On the other hand, as a single optical signal path at the data server side is shared by four client devices by splitting 5 the path into four time units, the electric signal paths 1401, 1402, 1403, etc. are not required to secure the data transfer rate of 10 Gbps at the data server device side, and in this case, 10/4, or 2.5 Gbps is sufficient. As such, the electric signal path complying with the applicable Telecommunication Standards for the 10 transfer rate of 3 Gbps was used in combination with the electric signal input/output unit of the optical transceiver having a data transfer rate of 10 Gbps.

[0197]

The optical component elements configuring the optical signal 15 transmission unit 1120 include a single signal light beam light source 20; three control light beam light sources 21, 22, and 23, each of a different wavelength; dichroic mirrors 51, 52, and 53 for aligning the optical axes of all of the control light beams 121, 122, and 123 to propagate in the same direction; and a condenser 20 lens 10 for combining the signal light beam 120 and the three control light beams 121, 122, and 123 to direct the combined beams into the optical fiber 1110.

[0198]

As the optical signal path 1110 to combine and transport all 25 the signal light beam 120 and the three control light beams 121, 122, and 123, a single mode quartz glass optical fiber having a length of 10 m was used.

[0199]

The optical switch of Example 1 exemplifies a case wherein 30 the optical switch comprises a collimating lens 30 to substantially restore the signal light beam 120 exiting from the optical fiber 1110 and the control light beams 121, 122, and 123 to parallel, and optical path switching mechanisms 91, 92, and 93 that include condenser lenses (31, 32, 33) for light entering the thermal lens,

thermal lens forming devices (1, 2, 3), the light receiving lenses (41, 42, 43) for light exiting the thermal lens, wavelength selecting and transmitting filters (81, 82, 83) and hole-provided mirror (61, 62, 63), which are serially connected in three stages. The straight traveling signal light beams 111 and 112 exiting from the optical path switching mechanisms 91 and 92 are specially coupled, and enter into the thermal lens entering light beam condenser lenses 32 and 33 of the optical path switching mechanisms 92 and 93, respectively, at the latter stages, the straight traveling signal light beam 113 exiting from the optical path switching mechanism 93 is condensed by the condenser lens 401 for the straight traveling signal light beam, and enters into the optical signal path 1114 as the straight traveling exited signal light beam. Signal light beams 211, 212, 213 switched and output from the optical path switching mechanism 91, 92 and 83 are respectively condensed by optical path switched exiting signal light beam condenser lenses 71, 72 and 73, then enter into optical signal paths 1111, 1112 and 1113 as the exiting signal light beams with optical path switched.

[0200]

As the optical signal paths 1111, 1112, 1113, and 1114 at the exiting side, a normal single mode quartz glass optical fiber (having a length of 100 m) was used. Instead of a single mode quartz glass optical fiber, multimode quartz glass optical fiber, SI type plastic optical fiber, or GI type plastic optical fiber may be selected and used in accordance with the transmittance/transmission loss property of the control light beams and signal light beams.

[0201]

The number of optical path switching mechanisms to be connected corresponds to the number of light sources for signal light beams having wavelengths different from each other. However, the number of stages that can be coupled is calculated based on the transmittance of the signal light per one stage of optical path switching mechanism, initial intensity of the signal light beam that enters into the optically controlled optical-oath-switch-type data distribution

apparatus, and the signal light beam intensity required at the end. For example, if the transmittance of a single optical path switching mechanism is 85% (attenuation of 0.7 dB for signal strength), the total transmittance will be 52.2% (attenuation of 2.8 dB for signal strength) when four optical path switching mechanisms are connected in series.

[0202]

A three-stage serial configuration as shown in Fig. 4a will next described in detail, as an example. Partial views of the condenser lens 31 and thermal lens forming device 1 shown in Fig. 4a are extracted as Figs. 11 and 12, and partial views added further with a light receiving lens 41 and a hole-provided mirror 61, etc. are shown in Figs. 13 and 14. To avoid complicated drawings of an apparatus having three or more optical path switching mechanisms, when optical path switching mechanisms, 91, 92 and 93 are spatially-connected type as shown in Fig. 4a, a portion of the schematic view of the configuration (the left view in Fig. 5) of an optical path switching mechanism of a spatially-connected type is symbolized and represented as shown in the right view in Fig. 5. That is, for example, the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus shown in Fig. 4a is represented by a schematic configuration view as shown in Fig. 4b where some portion thereof are symbolized. As Figs. 4a and 4b are the schematic configuration views having identical contents except that the way of representation is different, hereinafter, these views are simply referred to as "Fig. 4" when Fig. 4a and Fig. 4b need not be distinguished.

[0203]

Furthermore, two or more optical path switching mechanisms can be connected as an optical-fiber-connected type. However, in this case, the mechanisms are represented as in Fig. 9 by omitting the schematic view of the configuration of the optical path switching mechanisms of the optical-fiber-connected type.

[0204]

Although the thermal lens forming device 1 is depicted in Figs. 4a, 5, 6, 9 and Figs. 11 to 14 as a device having a three (3)-layer configuration of the heat-conducting layer film 501, the light absorbing layer film and thermal lens forming layer 502, and the 5 heat-conducting layer film 503, the configuration of the thermal lens forming device is not limited to this configuration.

[0205]

In Example 1, as the thermal lens forming devices 1, 2 and 3, the pigment-solution-filling-type thermal lens forming devices 10 800 (Fig. 15) filled respectively with solutions of each of the above-described pigments [1], [2] and [3] were used. As the solvent for the pigments, o-dichlorobenzene thoroughly dehydrated and degassed was used. Optical cells 809 having the same shape were used for the thermal lens forming devices 1, 2 and 3, and the thickness 15 of the pigment solution filling unit 808 thereof, i. e., the spacing between the entering and exiting surface glass plates 801 and 802 was, for example, 200 $\mu$ m. AR coating was applied on the outer surface of the entering surface glass plate 801 and the exiting surface glass plate 802 of the optical cell 809. In addition, the introducing 20 inlet 807 of the optical cell 809 was melted and sealed after a filling and degassing processes for the pigment solution were carried out. The concentration of the pigment solutions was adjusted between 0.2 to 2 weight percent and was adjusted for each of the pigments [1], [2], and [3] such that the transmittance for 532 nm, 670 nm, 25 and 800 nm was respectively 0.0 to 0.2%, while the transmittance for the signal light beam having a wavelength of 850nm was 85 to 99%.

[0206]

In the configuration employed in Example 1, an entering signal 30 light beam 110 from the optical signal path 1110 is focused by the collimating lens 30 to form an approximately parallel light beam having a beam radius of 5.0 mm.

[0207]

Although in Example 1, an optical transceiver transmission

unit utilizing a vertical cavity surface emission type semiconductor laser having an oscillation wavelength of 850 nm enabling data transmission at 10 Gbps was used as a light source 20 of the signal light beam 120, semiconductor laser beams having oscillation 5 wavelengths of 1350 nm and 1550 nm with a super high speed modulation capability may be used. Further, signal light beams having a plurality of wavelengths may be used simultaneously. When a signal light beam light source providing a plurality of wavelengths is employed, one optical packet contains signal light beams with a 10 plurality of wavelengths that have been overlapped, and the signal light beams are collected according to wavelength by an optical signal receiving unit. In Example 1, the secondary high harmonic wave of a semiconductor excited Nd: YAG laser oscillation wavelength of 532 nm, and a semiconductor laser providing 670 nm and 800 nm 15 were used for control signal light beam light sources 21, 22, and 23 that irradiate control light beams 121, 122, and 123 to form respective thermal lenses in the thermal lens forming device 1, 2, and 3, then to switch signal light beam optical paths by turning ON/OFF of the control light beams. Each of the control light beams 20 121, 122 and 123 were formed so that they provided a parallel light beam with a beam radius of 4.5 mm. The laser power of a control light beam light source positioned before either the condenser lens 31, 32, or 33 was set to 2 or 10 mW.

[0208]

25 The control light beams 121, 122, and 123 and the signal light beams 110, 111, and 112 were converged by the common condenser lenses 31, 32, and 33, respectively, and were irradiated on the thermal lens forming devices 1, 2 and 3. In order to overlap the beam waist of each of the control light beams and the signal light beams in 30 the thermal lens forming devices, the signal light beams and the control light beams were adjusted using the dichroic mirrors 51, 52 and 53 such that the signal light beams and the control light beams were on the same optical axis and parallel to each other, before the beams entered the optical signal path 1110. In this manner,

the thermal lens effect created by the light absorption at the position of the beam waist of the control light beams can be utilized efficiently for deflecting the traveling direction of the signal light beams.

5 [0209]

In the configuration employed in Example 1, the positional relations between condenser lens 31, 32, and 33, and respective thermal lens forming devices 1, 2, and 3 are adjusted so that the beam waist of signal light beams and control light beams is located 10 in the vicinity of the entering surface in the light absorbing layer film of the thermal lens forming devices 1, 2 and 3, and set so that the signal light beams having converged and entered into the thermal lens forming devices 1, 2 and 3, exit as signal light beams 111, 112 and 113 at ordinary divergence angle when no control light 15 beam is irradiated, while the signal light beams exit at a divergence angle larger than the ordinary divergence angle by forming an annular cross-section due to the thermal lens effect when a control light beam is irradiated. Here, after passing through the thermal lens forming devices 1, 2, and 3, the signal light beams are collimated 20 into generally parallel light beams by the light receiving lenses 41, 42 and 43. The numerical aperture (hereinafter, referred to as "NA") of these light receiving lenses is set to be larger than the NA of the condenser lenses. In the configuration used in Example 1, the NA of the condenser lenses was 0.25 and the NA of the light 25 receiving lenses was 0.55. The NA of the light receiving lenses is preferably greater than or equal to twice the NA of the condenser lenses. The condenser lenses and the collimating lens are not limited to lenses having these specific NA values, and any combination of lenses satisfying the relationship may be employed. By setting the 30 NA of the light receiving lenses to be at least twice the NA of the condenser lenses, the light beams can be received without any loss, even when the beam diameter of the signal light beams is expanded by a factor of two or more at the time when the signal light beams enter the thermal lens forming device. In Example 1, the focal

distances of the condenser lenses and the light receiving lenses were set to be same and condenser lenses with an effective diameter of approximately 10 mm were used.

[0210]

5 The signal light beams collimated by the light receiving lenses 41, 42, and 43 are made to enter the hole-provided mirrors 61, 62, and 63. As described above, the paths of the signal light beams can be switched by providing these hole-provided mirrors.

[0211]

10 In the configuration used in Example 1, the focal distance  $f_1$  of the condenser lens 31 and the focal distance of  $f_2$  of the light receiving lens 41 are the same. Therefore, the beam diameter  $d_1$  of the signal light beam 110 that enters into the condenser lens 31 and the diameter  $d_2$  of the signal light beam 111 that has been 15 converted into a parallel light beam by the light receiving lens are the same, 10 mm in the constructed example, as noted above. The minor axis  $D_1$  of the ellipse hole 161 of the hole-provided mirror 61 is preferably 10.1 mm to 12 mm, and more preferably 10.2 mm to 11mm, and in Example 1, the minor axis  $D_1$  is set to 10.5 mm.  $D_2$  is 20 determined to be 14.8 mm using equation [7]. A mirror having a size (50mm x50mm) sufficient to reflect a beam having a diameter of 30mm by 45 degrees may be used.

[0212]

25 As shown in Fig. 4, the switching of the optical paths causes the signal light beams (switching signal light beams) 211, 212, and 213 taken out by deflecting the direction by 90 degrees from the original traveling direction of the signal light beams to enter the optical fibers in optical paths 1111, 1112, and 1113, by condensing the signal light beams through the condenser lenses 71, 72 and 73.

30 [0213]

When all of the light sources 21, 22, and 23 of the control light beams are turned off, the signal light beams are not subject to the thermal lens effect and exit as the signal light beams 111, 112, and 113. The condenser lens 401 condenses the exiting signal

light beam 113 and directs it to enter the optical fiber of the optical signal path 1114.

[0214]

In the configuration employed in Example 1, respective wavelength selecting and transmitting filters 81, 82, and 83 are provided behind the thermal lens forming devices 1, 2 and 3. The wavelength selecting and transmitting filters 81, 82, and 83 absorb 100% of the light of control light beams having a wavelength of 532 nm, 670 nm, and 800 nm, respectively, and the control light beam having a longer wavelength used at the later stage and signal light beams having a wavelength of 850 nm by 99.5% or more.

[0215]

An optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus such as that employed in Example 1 can be configured by connecting, in series, in three stages, optical path switching mechanisms comprising a condenser lens, thermal lens forming device, a light receiving lens, and a hole-provided mirror. Therefore, when all of the control light beams are turned off, the signal light beam travels straight and enters the optical fiber of the optical signal path 1114. When the control light beam 21 is turned on, by switching the optical path, the signal light beam 211 exits to the optical fiber in the optical signal path 1111. When the control light beam 22 is turned on and the control beam 21 is turned off, the signal light beam 212, by switching the optical path, exits to the optical fiber in the optical signal path 1112, while the signal light beam 213, by switching the optical path, exits the optical fiber in the optical signal path 1113 when the control light beams 21 and 22 are turned off and the control beam 23 is turned on. An example in which plurality of control light beams are turned on simultaneously will also be described below.

[0216]

The signal light beams entering the optical fibers in the optical signal paths 1111, 1112, 1113, and 1114 are received by the optical signal receiving units at the receiving side, converted

to electric signals, and distributed to the client devices 1201, 1202, 1203, and 1204, respectively.

[0217]

In the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 1, in order to measure the optical response speed of the optical path switching mechanism in the first stage, a continuous light beam was used as the signal light beam while a square-wave intermittent light beam at a frequency of several Hz to 100 kHz and a duty ratio of 1:1 was irradiated as the control light beam 121, and magnitudes of the intensity amplitudes of the signal light beam for which the optical paths had been switched were compared.

[0218]

The waveform 6210 of the control light beam 121 measured by an oscilloscope by directing the control light beam from the control light beam light source 21 shown in Fig. 4 to an optical detector, and the waveform 6220 of the signal light beam 211 whose optical path was switched in response to on/off of the control light beam 121 and directed to an optical detector measured by an oscilloscope are shown in Figs. 23 and 24. The axis of ordinate of Fig. 24 is enlarged three (3) times as large as that of Fig. 23. The frequency of the square wave that turned on and off the control light beam 121 was set at 200 Hz to 100 kHz and the measured result of the amplitude L of the waveform 6220 of the signal light beam corresponding to the turning on and off of the signal light beam in that case is shown in Fig. 25.

[0219]

As shown in Fig. 23, the frequency of the square wave that turned on and off the control light beam 121 (Fig. 4) was 500Hz and assuming that the amplitude L of the waveform 6220 of the signal light beam corresponding to the turning on and off of the signal light beam in this case was one (1) as a reference, the amplitude L was approximately one (1) for the frequency range of 0.2 to 2kHz of the square wave that turned on and off the control light beam

121 (Fig. 4). That is, it was confirmed that complete optical path switching was possible in 500 $\mu$ sec. This high-speed response was performed at greater than twice the speed of an optical switch using a thermo-optical effect using an electric heater, which typically 5 have a response speed measured in milliseconds.

[0220]

As an example for the case when the frequency is further increased, the waveform 6220 of the signal light beam at a frequency of 20 kHz is shown in Fig. 25. As can be seen from Fig. 25, when 10 the control light beam has been turned off before the switching of the optical paths by the thermal lens effect is completed, the waveform of the signal light beam becomes a saw-tooth shape and the amplitude L becomes smaller. That is, when the response speed of the thermal lens effect is exceeded, the switching of the optical 15 paths is incomplete, and the paths of a portion of the signal light beam are not switched and travel straight.

[0221]

The same measurement as that measured for the optical response speed of the optical path switching mechanism in the first stage 20 described as above was carried out for the second-stage and the third-stage optical path switching mechanisms with each of the signal light beams 122 and 123 being turned on and off, and a high response speed equivalent to that of the first stage was obtained in each stage.

25 [0222]

In order to measure the durability of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 1, a continuous light beam was used as the signal light beam while square-wave intermittent light beams at a frequency of 1 kHz and 30 a duty ratio of 1:1 were irradiated respectively as the control light beams 121, 122 and 123, and the intensity amplitudes over time of the signal light beam for which the optical paths had been switched were compared. As a result, the intensity amplitude of neither of the signal light beams was attenuated, even after ten

thousand hours of continuous operation.

[0223]

In order to verify the polarized-wave dependence of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 1, a single polarizing device was inserted in the signal light beam and the control light beam, and an experiment was conducted varying the polarization angle in various manners. Absolutely no polarized-wave dependence was found in any test.

10 [0224]

In order to test the cross-talk characteristic of and between the exiting straight-traveling light beam and the optical-path-switched light beam of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 1, the optical intensity of the exiting light beam from the optical fibers 1111, 1112, 1113 and 1114 in optical signal paths was compared in cases when all of the control light beams were turned off, when only the light source 21 for the control light beam was turned on, when only the light source 22 for the control light beam was turned on and when only the light source 23 of the control light beam was turned on. Then, the leaking light (cross-talk) intensity to the exiting light beam intensity of interest was a very weak 2000:1 to 8000:1 (-33 to 39dB).

[0225]

25 In the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 1, one data server device transmits data to four client devices, and the time required for switching optical paths in response to ON or OFF of a control light beam was 0.5 millisecond. Therefore, the delay time  $\Delta t$  for an optical packet 30 in response to ON/OFF of the reference clock pulse as shown in Fig. 3 is 1 millisecond. Thus, the data distributable period to be allocated to one client is  $(1000/4-1=)$  249 millisecond at maximum; the time width of an optical packet can be set to 249 millisecond at maximum; and the data size to  $(10 \text{ Gbps} \times 0.249 \text{ second}=)$  2.49

Gbit, or 311 MB at maximum.

[0226]

An image data distribution experiment was carried out by distributing 240 to 300 MB of data consisting of 200 pages of 5 high-definition still color images (1.2 to 1.5 MB per one image) having 2272 x 1704 pixels with 32-bit color information per pixel to each of four users, and the data distribution was successfully completed in one second (equivalent to 1 optical packet x 4).

[0227]

10 An experiment to distribute four different types of files recording color moving images with a size of 1000 MB to four users was carried out, and the data distribution was successfully completed in four seconds (equivalent to 4 optical packets x 4).

[0228]

15 [Comparison Example 1]

An Ethernet (registered trademark) card providing an Ethernet standard transfer rate of 1 Gbps was installed in each of the data server device and the four client devices, and a LAN cable with a length of 10 m was used to connect between the data server device 20 and the switching HUB device providing a standard transfer rate of 1 Gbps, and between each of the client device and the switching HUB device. The data transfer rate was then measured. 58 seconds were required to distribute the moving image files having a size 25 of 1000 MB, which were the files used in Example 1, to each of the client devices simultaneously. The same measurement was performed after changing the Ethernet of the client devices to the cards providing an Ethernet standard transfer rate of 100 Mbps, in which case 123 seconds were required.

[0229]

30 [Example 2]

In an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus such as employed in Example 2, all of optical path switching mechanisms 91, 92 and 93 of Example 1 (Fig. 4) are replaced with an optical path switching mechanism 191 (Fig. 6);

the beam waist (focal point) of the signal light beams and control beams are set to position 6 (light beam exiting side) close to light-receiving lens 41 of a thermal lens forming device 1; and the diameter of a hole 161 of a hole-provided mirror 61 is set to 5 2 mm, which is smaller than that of the mirror used in Example 1. Other component elements are the same as those used in Example 1. Using the device, the beam waist (focal point) of signal light beams and control light beams are set to a position 6 (light beam exiting side) close to the a light receiving lens 41 of the thermal lens forming 10 device 1, therefore, the transmittance of 1 to 5% for the control light beams at light absorbing layer film of a thermal lens forming device is preferable. When the optical intensity distribution on the cross-sectional plane of the signal light beam 110 entering an optical path switching mechanism 191 has a Gaussian distribution, 15 or a distribution similar to a Gaussian distribution but not an annular shape, it is preferable to shape the optical intensity distribution on a beam cross-sectional plane of the signal light beam into a annular shape using the beam-cross-section shaping-into-ring lens group 321 comprising a 20 circular-cone-prism-type lens, etc. Furthermore, when the signal light beams and the control light beams are simultaneously irradiated, the converged traveling straight signal light beam 119 exiting the thermal lens 60 formed by the optical absorption of the control light beams has a smaller beam diameter, and the beam waist thereof 25 becomes relatively large, as described above, after the signal light beam 119 is condensed in the latter stages. In order to avoid this, it is preferable to cause the converged traveling straight signal light beam 119 to exit as the signal light beam 111 by expanding the radius of the signal light beam 119 to 5 mm that is equal to 30 the radius of the entering signal light beam 110 using the beam expander 331.

[0230]

The relationship between the on/off state of the control light beams 121, 122, and 123 of the optically controlled

optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 2 and optical path switching is as described below. When at least the control light beam 121 is turned off, the signal light beam 110 is reflected by the reflection surface of a hole-provided mirror 5 61, exits as an optical path switching signal light beam 211, and condensed by a condenser lens 71, and enters an optical fiber 1111. When the control light beams 121 is turned on, the signal light beam 110 passes through the hole 161 of the hole-provided mirror 61 as the converged straight-traveling signal light beam 119 then 10 the beam diameter thereof is expanded to the diameter that is equals to the beam diameter of the entered signal light beam 110 by the beam expander 331, and enters the second stage optical path switching mechanism 192 (Fig. 7). When the control light beam 121 turns on while the control light beam 122 turns off, the signal light beam 111 15 exits as an optical path switched light beam 212, and enters an optical fiber 1112. When the control light beams 121 and 122 are turned on at the same time, the signal light beam travels straight, and enters the third-stage optical path switching mechanism 193 (Fig. 7) as the signal light beam 112, while enters an optical fiber 20 1113 as the optical path switched light beam 213 when the control light beams 121 and 122 are turned on simultaneously and the control light beam 123 is turned off. When all the control light beams 1121, 122 and 123 are turned off, the signal light beam 110 will finally 25 exits as a straight-traveling signal light beam 113 that is condensed by a condenser lens 401 then enters an optical fiber 1114.

[0231]

In order to measure the optical response speed of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 2, a continuous light beam was used as the 30 signal light beam while a square-wave intermittent light beam at a frequency of several Hz to 100 kHz and a duty ratio of 1:1 was irradiated as the control light beam 121, and magnitudes of the intensity amplitudes of the signal light beam for which the optical paths had been switched were compared. As a result, it was found

that the intensity amplitude was not varied up to 2kHz relative to the intensity amplitude of the signal light beam at 1Hz and that, when the frequency was further increased, the intensity amplitude was gradually attenuated, and at 10kHz, the intensity amplitude 5 was attenuated to a half of the original magnitude thereof. That is, it was confirmed that complete optical path switching was possible in 500 $\mu$ sec. This is a response speed more than twice as fast as the fastest known optical switch using a thermo-optical effect using an electric heater. When the control light beams 122 and 123 turned 10 on and off similarly, a response speed similar to that when the control light beam 121 was turned on and off was observed.

[0232]

In order to measure the durability of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 15 2, a continuous light beam was used as the signal light beam while square-wave intermittent light beams at a frequency of 1kHz and a duty ratio of 1:1 were irradiated respectively as the control light beams 121, 122, and 123, and the intensity amplitudes over time of the signal light beam whose optical paths had been switched 20 were compared. The result shows that the intensity amplitude of either of the signal light beams was not attenuated even after ten thousand hours of continuous operation.

[0233]

In order to test the cross-talk characteristic between the 25 exiting straight-traveling light beam and the optical-path-switched light beam of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 2, the optical intensities of the exiting light beam from the optical fibers 101, 11, 12 and 13 were compared in tests wherein all of the control light beams 30 were turned off, wherein only the light beam 121 was turned on, wherein only the light beams 121 and 122 were turned on, and wherein the control light beams 121, 122 and 123 were all turned on. As a result, the leaking light (cross-talk) intensity to the exiting light beam intensity of interest was very weak, between 1000:1 to

2000:1 (-30 to 33dB).

[0234]

An image data distribution experiment was carried out by distributing 240 to 300 MB of data consisting of 200 pages of 5 high-definition still color images (1.2 to 1.5 MB per one image) having 2272 x 1704 pixels with 32-bit color information per pixel to each of four users. In each case, data distribution was successfully completed in one second.

[0235]

10 [Example 3]

The installation angle (45 degrees against the optical axis of the signal light beam 110) of a hole-provided mirror 61 as used in Example 1 can be changed and, by determining the shape (the length of the major axis against that of the minor axis) of the elliptic 15 hole 161 through the calculation using trigonometric functions based on the installation angle, the angle of the optical path switching against the optical axis of the signal light beam 110 can be changed freely within a range of approximately 5 to 175 degrees. The hole-provided mirrors 62 and 63 disposed in the second and subsequent 20 stages can similarly be changed.

[0236]

Furthermore, by rotating the installation position of the hole-provided mirror 61 using the optical axis of the signal light beam 110 as a rotation axis and also moving the position of the 25 condenser lens 71, etc., the switching of the optical path switching direction relative to the optical axis of the signal light beam 110 can be changed freely within a range from 0 to 360 degrees. Installation positions of the hole-provided mirrors 62 and 63 in the second and subsequent stage can also similarly be changed.

30 [0237]

[Example 4]

Fig. 8 shows a schematic view of the configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus as employed in Example 4. In Fig. 8, a light

source 20 for a signal light beam, light sources 21, 22 and 23 for control light beams, dichroic mirrors 51, 52 and 53, a condenser lens 10, an optical fiber 100 and a collimating lens 30 identical to those used in Example 1 are employed.

5 [0238]

The optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus in Fig. 8 is an apparatus that distributes data to eight client devices by switching the optical paths of the signal light beam 120 to eight directions of the optical fibers 10 5101, 5102, 5103, 5104, 5013, 5014, 5015, and 5016, via a total of seven optical path switching mechanisms formed by adding and connecting, in the spatial connecting scheme, one optical path switching mechanism with the optical path switching mechanism 92 in the second stage of the Example 1 and three optical path switching 15 mechanisms to the subsequent stage of the optical path switching mechanism 91 in the first stage, with the combinations of simultaneous turning on and off of all of the three types of the control light beams. That is, in terms of the principle, in general, assuming that  $n$  is an integer of two or larger, then switching of optical 20 paths in  $2^n$  directions is enabled by connecting  $2^n - 1$  optical path switching mechanisms with combinations of states of turning on and off of  $n$  types of control light beams. In practice, the number of practical combination stages is determined by the combinations of transmittances of the signal light beam per one stage of the optical 25 path switching mechanism. Assuming that the transmittance of the straight-traveling signal light beam whose optical path is not switched by the optical path switching mechanism is 85% (attenuation of 0.7dB as the signal intensity), and that the attenuation factor of the switched signal light beam whose optical path was switched 30 is 80% (attenuation of 1.0dB as the signal intensity), then the total transmittance of the straight-traveling signal light beam whose the optical path has been switched throughout the optical path is 61.4% (attenuation of 2.1dB as the signal intensity), the total transmittance when the optical path has been switched in all

of the three stages is 51.2% (attenuation of 2.9dB as the signal intensity). The combinations of the simultaneous turning on and off of the three (3) types of control light beams 121, 122 and 123 and the destinations of the exiting signal light beams are summarized  
5 in Table 2.

[0239]

[Table 2]

	Control Light Beam			Destination of Exiting Light Beam
	121	122	123	
Combination of ON and OFF of the Control Light Beams	off	off	off	5101
	off	off	on	5013
	off	on	off	5014
	off	on	on	5102
	on	on	off	5104
	on	on	on	5016
	on	off	off	5015
	on	off	On	5103

[0240]

10 As the thermal lens forming device of the optical path switching mechanism 91 in the first stage, similarly to the case of Example 1, a pigment-solution-filling-type thermal lens forming device filled with a solution of the pigment [1] that absorbs the signal light beam 121 having a wavelength of 532nm was used. The wavelength  
15 transmittance property was also set to be same as that used in Example 1.

[0241]

As the thermal lens forming devices of the optical path switching mechanisms 92 (that spatially couples with the straight-traveling light beam 111 from the optical path switching mechanism 91) and 95 (that spatially couples with the switched light beam 211 from the optical path switching mechanism 91) in the second stage, in either case, and again similar to Example 1, a

pigment-solution-filling-type thermal lens forming device filled with a solution of the pigment [2] that absorbs the signal light beam 122 having a wavelength of 670 nm was used. The wavelength transmittance properties of the pigment will be described below.

5 [0242]

As the thermal lens forming devices of the optical path switching mechanisms 93 (that spatially couples with the straight-traveling light beam 112 from the optical path switching mechanism 92), 94 (that spatially couples with the switched light beam 212 from the optical path switching mechanism 92), 96 (that spatially couples with the switched light beam 215 from the optical path switching mechanism 95) and 97 (that spatially couples with the straight-traveling light beam 115 from the optical path switching mechanism 95) in the third stage, in any of those cases, similarly to the case of Example 1, a pigment-solution-filling-type thermal lens forming device filled with a solution of the pigment [3] that absorbs the signal light beam 123 having a wavelength of 800 nm was used. The wavelength transmittance properties of this pigment will be described below.

20 [0243]

Here, in the optical path switching mechanisms 92, 93, and 97 in the latter stages that couple with the straight-traveling light beam from the optical path switching mechanism in the previous stage, similarly as in Example 1, the signal light beams and the control light beams were adjusted such that these beams focus at a position corresponding to the position 5 of Figs. 11(a) and Fig. 13, i. e., a position close to the entering surface of the light absorbing layer films of the thermal lens devices and, furthermore, the sizes of the hole 161, etc. of the hole-provided mirror 61, etc. were set to be equal to those of Example 1. In this manner, the straight-traveling light beam from the optical path switching mechanism in the previous stage can be efficiently made to travel straight or switched by the optical path switching mechanisms in the latter stages. In the optical path switching mechanisms 92,

93, and 97, the transmittance of each of the control light beams were adjusted to be 0.0 to 0.2% and the transmittance of the signal light beam having a wavelength of 850 nm was adjusted to be 85 to 99%.

5 [0244]

On the other hand, in the optical path switching mechanisms 94, 95 and 96 that couple with the optical-path-switched light beam (the light beam having the annular cross-section) from the optical path switching mechanism in the previous stage, similarly as in 10 the optical path switching mechanism 191 of Example 2, the signal light beams and the control light beams were adjusted such that these beams focus at a position corresponding to the position 6 of Figs. 11 and 14, i. e., a position close to the exiting surface of the light absorbing layer films of the thermal lens devices and, 15 furthermore, the sizes of the hole 161, etc. of the hole-provided mirror 61, etc. were set equal to those of Example 2. However, the beam-cross-section shaping-into-ring lens group 321 (Fig. 6) in the optical path switching mechanism 191 was not provided because the optical-path-switched annular signal light beams 212, 211, and 20 215 were spatially coupled respectively and entered the optical path switching mechanisms 94, 95, and 96 from the optical path switching mechanism in the previous stage, with the annular shapes being maintained. On the other hand, the beam expander 331 (Fig. 25 6) for expanding the beam diameter of the converged straight-traveling signal light beam 119 was provided with each of the optical path switching mechanisms 94, 95, and 96.

[0245]

By doing this, the optical-path-switched light beam having an annular cross section exiting from the optical path switching 30 mechanism in the previous stage can be efficiently caused to travel straight or switched by the optical path switching mechanisms in the latter stages. In the optical path switching mechanisms 94, 95, and 96, the transmittance of each of the control light beams were adjusted to be 1.0 to 5.0% and the transmittance of the signal

light beam having a wavelength of 850 nm was adjusted to be 85 to 99%.

[0246]

The straight-traveling light beams 113, 114, 116, and 117 exiting from the optical path switching mechanism in the third stage (the final stage) are condensed by respective condenser lenses 401, 402, 403, and 404, and enter respective exiting signal light beam optical fibers 5101, 5102, 5103, and 5104, while the optical-path-switched light beams 213, 214, 216, and 217 also exiting the optical path switching mechanism are condensed by respective condenser lenses 73, 74, 75, and 76 and enter respective exiting signal light beam optical fibers 5013, 5014, 5015, and 5016. The specifications of these optical fibers are the same as those specified in Example 1.

[0247]

For the optically controlled optical-path-switching-type optical signal transmission apparatus of Example 4, the optical response speeds of the optical path switching mechanisms in the first to third stages were measured in the same manners as in Example 1 and similar results were obtained.

[0248]

The durability of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 4 was tested in the same manners as in Example 1 and, for any of the optical path switching mechanisms, the intensity amplitude of the signal light beam was not attenuated even after ten thousand hours of continuous operation respectively and high durability was verified.

[0249]

In order to verify the polarized-wave dependence of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 4, one polarizing device was inserted in each of the signal light beam and the control light beam, and an experiment was conducted while varying the polarization

angle in various manners. As a result, no polarized-wave dependence was detected.

[0250]

In order to test the cross-talk property of the eight exiting signal light beams of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 4, the optical intensities of the exiting light beams from the optical fibers 5013, 5014, 5015, 5016, 5101, 5102, 5103, and 5104 were compared for the eight combinations of the turning on and off of the control light beams as shown in Table 2. Then, the leaking light (cross-talk) intensity to the exiting light beam intensity of interest was a relatively weak 1000:1 to 8000:1 (-30 to 39dB).

[0251]

In the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 4, a single data server device distributes data to 8 client devices, and the time required to switch optical paths in response to turning on and off of a control light beam is 0.5 millisecond for each. Therefore, the optical packet delay time  $\Delta t$  in response to ON or OFF of a reference clock pulse shown in Fig. 3 is 1 millisecond. Thus, the data distribution time that is allowed to allocate to one client is  $(1000/8-1) 124$  millisecond at maximum. Thus the time width of an optical packet can be set to 124 millisecond at maximum, and the data size can be set to  $(10 \text{ Gbps} \times 0.124 \text{ second} =) 1.24 \text{ Gbit, or 155 MB at maximum.}$

[0252]

As an image data distribution experiment, 120 to 150 MB of data consisting of 100 pages of high-definition still color images (1.2 to 1.5 MB per one image), each having  $2272 \times 1704$  pixels with 32-bit color information per pixel, was distributed to each of the eight users. The data distribution was successfully completed in one second.

[0253]

[Example 5]

In Fig. 10, a schematic view of the configuration of an optically

controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 5 is shown. Example 5 is an apparatus in which the spatially-coupling-type optical path switching mechanisms 91, 92, 93, 94, 95, 96, and 97 (corresponding to those shown in Fig. 5 or Fig. 6) in the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 4 are replaced with optical-fiber-coupling-type optical path switching mechanisms 910, 920, 930, 940, 950, 960 and 970 (all corresponding to those shown in Fig. 9). In all of the optical-fiber-coupling-type optical path switching mechanisms, similar as in the optical path switching mechanisms of Example 1, the signal light beams and the control light beams were adjusted such that these beams focus at a position corresponding to the position 5 of Figs. 11(a) and 13, i. e., a position close to the entering surface of the light absorbing layer 15 films of the thermal lens devices and, furthermore, the sizes of the hole 161, etc. of the hole-provided mirror 61, etc. were set equal to those used in Example 1. Moreover, in all of the optical-fiber-coupling-type optical path switching mechanisms, the configuration, the material and the transmittance of the thermal lens forming devices were set to be the same as those used in Example 20 1. The length of optical fibers connecting each of the optical-fiber-coupling-type optical path switching mechanisms was set to be 10 to 100 m, assuming they are used in ordinary homes, hospitals, offices, etc.

25 [0254]

In order to compensate for the loss of the control light beams caused by the optical-fiber coupling, in the optical path switching mechanisms in all of the stages, the power of the control light beams that enters the thermal lens forming devices was adjusted 30 to be 2 to 5mW by increasing the output power of the light sources 21, 22, and 23 for the control light beams. Furthermore, the output power of the light sources for the signal light beams was also adjusted such that each of the eight exiting signal light beams has sufficient power.

[0255]

The straight-traveling exiting signal light beams in the optical path switching mechanisms 930, 940, 960, and 970 in the third stage were made to enter respectively light receiving devices 5 3013, 3014, 3016, and 3017 through optical fibers and collimating lenses, and the optical-path-switched signal light beams were caused to enter respectively light receiving devices 4013, 4014, 4016, and 4017 through optical fibers and collimating lenses.

[0256]

10 The correspondence between the combinations of the simultaneous turning on and off of the three control light beams 121, 122, and 123 and the destinations of the exiting signal light beams in Example 5 are summarized in Table 3.

[0257]

15 [Table 3]

	Control Light Beam			Destination of Exiting Light Beam
	121	122	123	
Combination of ON and OFF of Control Light Beams	off	off	off	3013
	off	off	on	4013
	off	on	off	3014
	off	on	on	4014
	on	on	off	3016
	on	on	on	4016
	on	off	off	3017
	on	off	on	4017

[0258]

20 The optical response speed, the durability, the polarized-electromagnetic-wave dependence and the cross-talk of the optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 5 were measured in the similar manners as those used in Example 4, and the similar or better results than those of Example 4 were obtained.

[0259]

The optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus of Example 5 is an apparatus in which a single data server device distributes data to 8 client devices, and the 5 time required to switch optical paths in response to turning on and off of a control light beam is 0.5 millisecond for each distribution. Therefore, the optical packet delay time  $\Delta t$  in response to ON or OFF of a reference clock pulse shown in Fig. 3 is 1 millisecond. Thus, the maximum data distribution time that 10 can be allocated to any one client is 124 milliseconds. Therefore, the time width of an optical packet can be set to 124 ms at maximum, and the data size can be set to 1.24 Gbit, or 155 MB at maximum.

[0260]

An image data distribution experiment was performed wherein 15 120 to 150 MB of data consisting of 100 pages of high-definition still color images (1.2 to 1.5 MB per one image), each having 2272 x 1704 pixels with 32-bit color information per pixel, was distributed to each of eight users, with the result that data distribution was successfully completed in one second.

20 [Industrial Applicability]

[0261]

The optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus and distribution method may be preferably used in, for example, a system for distributing, at a high speed, 25 a large volume of digital information such as high definition image data, high definition moving image data, etc. from a server to a selected specific client among a plurality of clients in an office, factory, hospital, private home, or the like.

[Brief Description of the Drawings]

30 [0262]

[Fig. 1] Fig. 1 is a schematic view of the configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus.

[Fig. 2] Fig. 2 is a diagram showing the flow of data to be

distributed from the data server device to a specific client device via the data communication unit, using optical packets, optical sequence tags, and optical destination tags.

[Fig. 3] Fig. 3 is a diagram illustrating the synchronization 5 of optical packets, optical destination tags, and reference clock pulses.

[Fig. 4a] Fig. 4a is a partial schematic view of the configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data transmitting apparatus depicted 10 with an optical path switching mechanism as in an Example 1 of the present invention.

[Fig. 4b] Fig. 4b is a partial schematic view of the configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data transmitting apparatus depicted 15 with a simplified representation of the optical path switching mechanism as in Example 1 of the present invention.

[Fig. 5] Fig. 5 is a simplified representation of the configuration of an optical path switching mechanism of a space-coupling type.

20 [Fig. 6] Fig. 6 is a simplified schematic representation of the configuration of an optical path switching mechanism of a space-coupling type.

[Fig. 7] Fig. 7 is a simplified schematic representation of the configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data transmitting apparatus in an 25 Example 2 of the present invention.

[Fig. 8] Fig. 8 is a simplified schematic representation of the configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data transmitting apparatus in an 30 Example 4 of the present invention.

[Fig. 9] Fig. 9 is a simplified schematic representation of the configuration of an optical path switching mechanism of an optical-fiber-coupling type.

[Fig. 10] Fig. 10 is a simplified representation of the

configuration of an optically controlled optical-path-switching-type data transmitting apparatus in Example 5.

[Fig. 11] Fig. 11 shows an example path of a light beam in 5 an example where no thermal-lens is formed.

[Fig. 12] Fig. 12 shows the path of a light beam when a thermal lens is formed when the position of the beam waist is adjusted such that the beam waist is positioned in the vicinity of (a) the beam-entering side and (b) the beam-exiting side of a light absorbing 10 layer film.

[Fig. 13] Fig. 13 is a schematic view illustrating the principle of the switching of optical paths when the position of the beam waist is adjusted such that the beam waist is positioned in the vicinity of the beam-entering side of a light absorbing layer 15 film.

[Fig. 14] Fig. 14 is a schematic view illustrating the principle of the switching of optical paths when the position of the beam waist is adjusted such that the beam waist is positioned in the vicinity of the beam-exiting side of a light absorbing layer 20 film.

[Fig. 15] Fig. 15 is a schematic view exemplifying a pigment-solution-filling-type thermal lens forming device.

[Fig. 16] Fig. 16 shows transmittance spectra of solutions of pigments [1], [2], and [3], respectively.

[Fig. 17] Fig. 17 is a schematic view showing the vicinity 25 of a focal point of a Gaussian beam converged by a condenser lens, etc.

[Fig. 18] Fig. 18 shows photographic images of cross-sectional views of an exiting signal light beam that were 30 captured by projecting the exited signal light onto a semi-transparent screen, in which (a) is an image captured when a control light beam was irradiated at the same time after the position of the beam waist was adjusted such that the beam waist was positioned in the vicinity of the beam-entering side of a light absorbing layer

film, (b) is an image captured when only a signal light beam was converted and irradiated, and (c) is an image captured after the position of the beam waist was adjusted such that the beam waist was positioned in the vicinity of the beam-exiting side of a light 5 absorbing layer film.

[Fig. 19] Fig. 19 shows the relationship between a slit and a light beam used in optical intensity distribution measurement on a cross-sectional plane of a signal light beam.

[Fig. 20] Fig. 20 shows an optical intensity distribution 10 on a cross-sectional plane of a signal light beam.

[Fig. 21] Fig. 21 shows an optical intensity distribution on a cross-sectional plane of a signal light beam.

[Fig. 22] Fig. 22 shows an optical intensity distribution on a cross-sectional plane of a signal light beam.

[Fig. 23] Fig. 23 shows the waveforms of a control light beam 15 and a signal light beam observed on an oscilloscope.

[Fig. 24] Fig. 24 shows waveforms of a control light beam and a signal light beam observed on an oscilloscope.

[Fig. 25] Fig. 25 shows the relationship between a frequency 20 for turning on and off the control light beam and the intensity (amplitude) of the signal light beam for which optical paths have been switched.

[Reference Numerals]

[0263]

25 1, 2, 3 thermal lens forming device; 5, 6 beam waist (concentrating point); 10 condenser lens for directing signal light beam and control light beam into optical fiber; 20 signal light beam light source; 21, 22, 23 control light beam light source; 30 collimating lens; 31, 32, 33 condenser lens; 41, 42, 43 light receiving lens; 50 entering 30 surface side thermal lens; 51, 52, 53 dichroic mirror; 60 exiting surface side thermal lens; 61, 62, 63 hole-provided mirror; 71, 72, 73, 74, 75, 76 condenser lens for annular exiting signal light beam; 81, 82, 83 wavelength selecting and transmitting filters; 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97 space-coupling type optical path switching

mechanisms; 110 collimated entering signal light beam and control light beam; 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117 straight-traveling signal light beam; 118 leaked signal light beam; 119 converged straight-traveling signal light beam; 120 signal light beam; 121, 5 122, 123 control light beam; 161 hole of hole-provided mirror; 191, 192, 193 space-coupling type optical path switching mechanism; 200 exiting signal light beam with ordinary divergence angle; 201 exiting signal light beam spreading in annular shape; 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217 exiting signal light beam after optical path switching; 10 300 wave front; 301 beam waist (focal point, concentrating point); 310 condenser lens for straight-traveling exiting signal light beam; 311 collimating lens; 321 beam-cross-section shaping-into-ring lens group; 331 beam expander; 401, 402, 403, 404 condenser lens for straight-traveling exiting signal light beam; 501 heat-conducting 15 layer film; 502 light absorbing layer film and thermal lens forming layer; 503 heat-conducting layer film; 700 optical intensity distribution measuring device; 701 light receiving unit; 702 first slit; 703 second slit; 710 point; 711 collimating lens; 720 point; 800 pigment-solution-filling-type thermal lens forming device; 801, 20 802 entering and exiting surface glass plates; 803, 804 side glass plate; 805 bottom glass plate; 806 introducing pipe; 807 introducing inlet; 808 pigment solution filling unit; 809 optical cell; 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970 optical path switching mechanism including optical fiber coupling system; 1000 data server device; 25 1010 transmission data storage unit; 1040 input/output control unit; 1050 data collecting unit; 1100 data communication unit; 1101 optical switch; 1110, 1111, 1112, 1113, 1114 optical signal path; 1120, 1121, 1122, 1123 optical signal transmitting unit; 1130, 1131, 1132, 1133 optical signal receiving unit; 1140, 1141, 1142, 1143 data 30 transmission/reception control unit; 1201, 1203, 1203 client device; 1211, 1212, 1213 received data storage unit; 1241, 1242, 1243 input/output control unit; 1261, 1262, 1263 data display unit; 1400, 1401, 1402, 1403 electric signal path; 3013, 3014, 3016, 3017 light receiving device; 3110, 3120, 3130, 3140, 3150, 3160, 3170 collimated

optical-fiber exiting light beam; 4013, 4014, 4016, 4017 light receiving device; 4110, 4120, 4130, 4140, 4150, 4160, 4170 collimated optical-fiber exiting light beam; 5013, 5014, 5015, 5016 optical signal path; 5101, 5102, 5103, 5104 optical signal path; 6210 waveform of control light beam; 6220 waveform of signal light beam; 12000, 12001, 12002, 12003, 12004, 12005 optical packet; 12010, 12020, 12030 data; 12011, 12012, 12013, 12021, 12031 optical packet; 12111, 12112, 12113, 12121, 12131 optical destination tag; 12211, 12212, 12213, 12221, 12231 optical sequence tag; 12311, 12312, 12313, 12321, 12331 information portion of optical packet; 13000, 13002, 13004, 13006, 13008, 13010 ON state of reference clock pulse; 13001, 13003, 13005, 13007, 13009 OFF state of reference clock pulse.

[Name of the Document] Abstract

[Abstract]

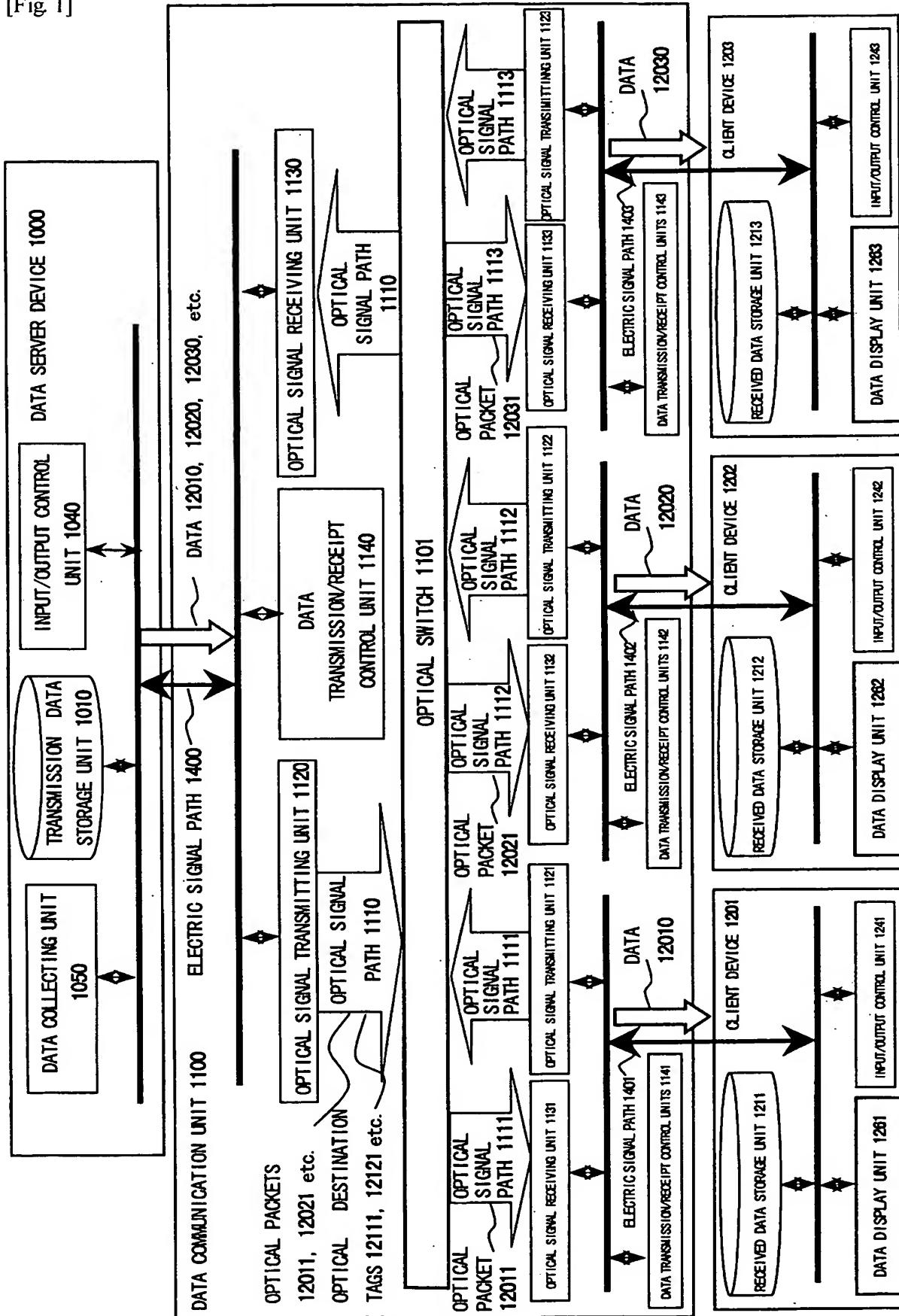
[Object] To provide an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus and 5 distribution method involving an optical packet communication system.

[Achieving Means] There is provided an optically controlled optical-path-switching-type data distribution apparatus for providing data from a data server device to one or more specific 10 client devices selected from a plurality of client devices, comprising: a data server device, a data communication unit and a client device. The data communication unit comprises: an optical switch, an optical signal path, an optical signal transmitting unit, an optical signal receiving unit, and data transmission/receipt 15 control unit. The optical signal transmitting unit comprises: a signal light beam light source for irradiating a signal light beam having one or more wavelengths, and a control light beam light source for irradiating a control light beam having one or more wavelengths that are different from those of the signal light beam. The optical 20 switch comprises: one or more light absorbing layer films for transmitting the signal light beam and selectively absorbing respectively only one specific wavelength of the control light beams; means for respectively converging and irradiating the control light beam and the signal light beam to each of the light absorbing layer 25 films; one or more thermal lens forming devices for causing the converged signal light beam to exit while maintaining beam convergence or for varying the angle of divergence of the signal light beam and for causing the signal beam to exit, in response to the presence or absence of irradiation of the one specific 30 wavelength of the control light beam, by using a thermal lens containing the light absorbing layer films and based on a distribution of refractive index produced reversibly caused by temperature increase generated in an area of the light absorbing layer film that has absorbed the one specific wavelength of the control light

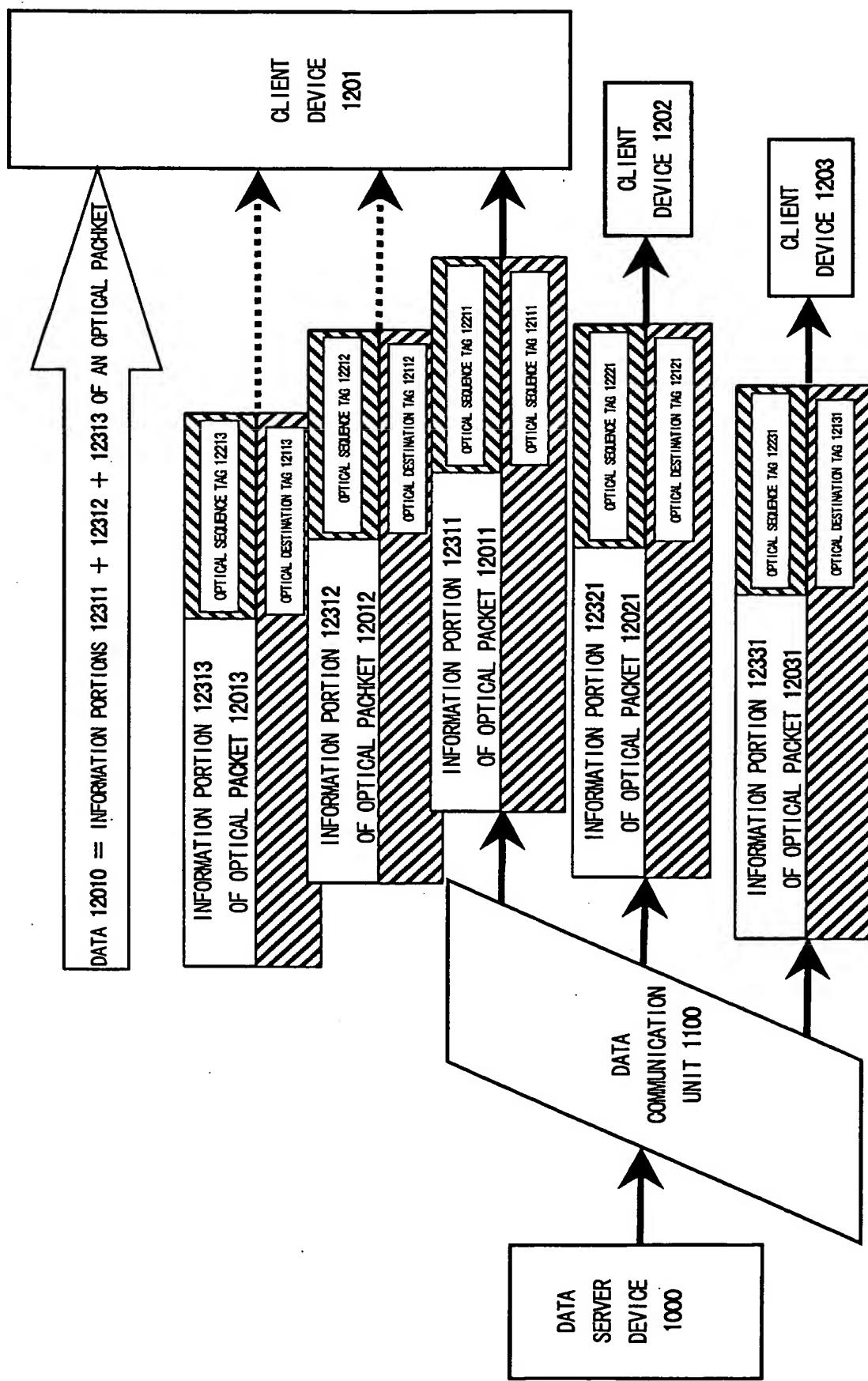
beam and in the periphery thereof; and one or more mirrors, each provided after one of the thermal lens forming devices and having a hole and reflecting means, for passing the signal light beam exiting the thermal lens forming devices through the hole or deflecting 5 the optical path of the signal light beam by reflecting the signal light beam by the reflecting means in response to the presence or absence of irradiation of the one specific wavelength of the control light beam.

[Selected Drawing] Fig. 1

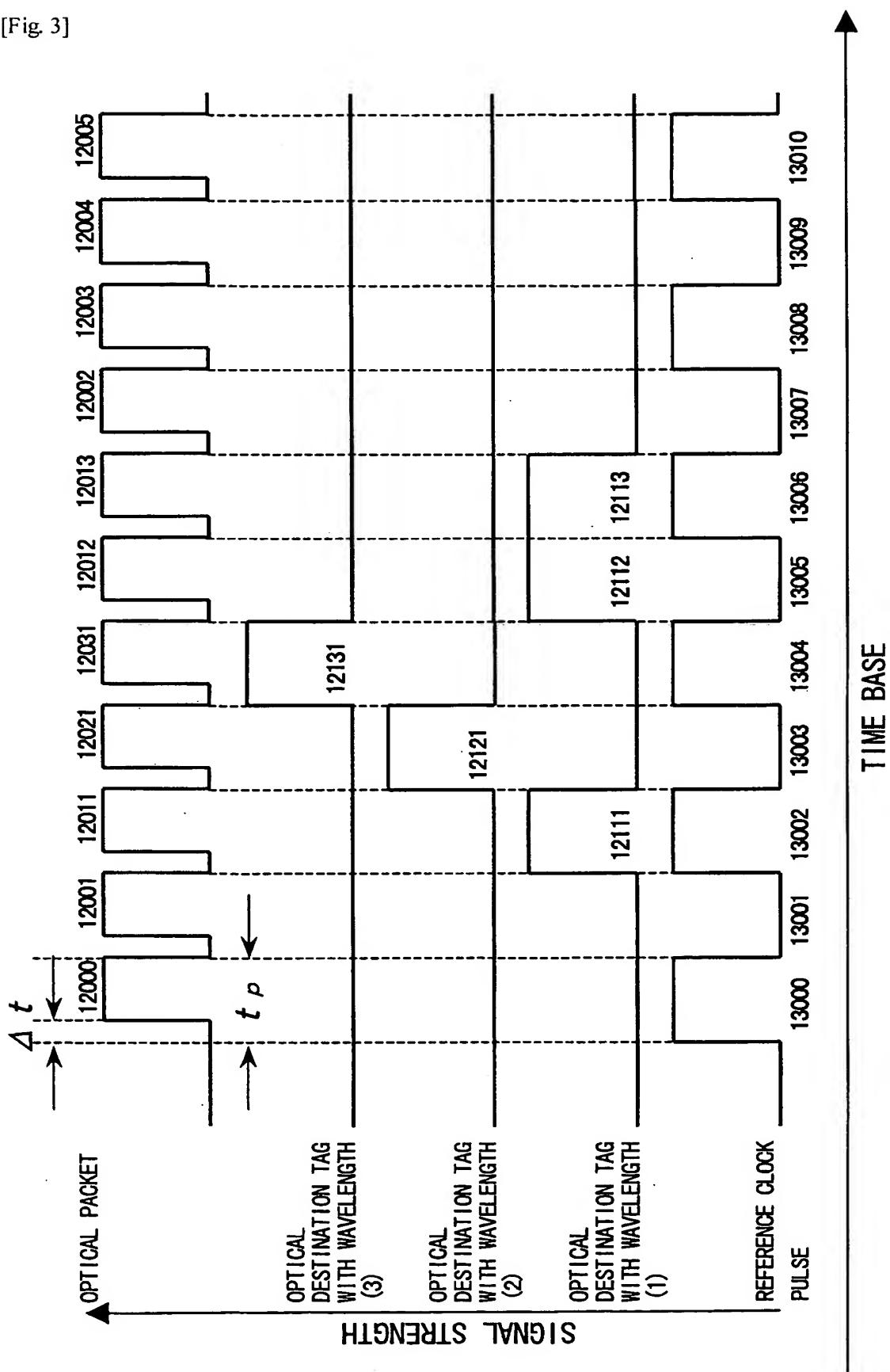
[Name of the Document] Drawings  
[Fig. 1] 



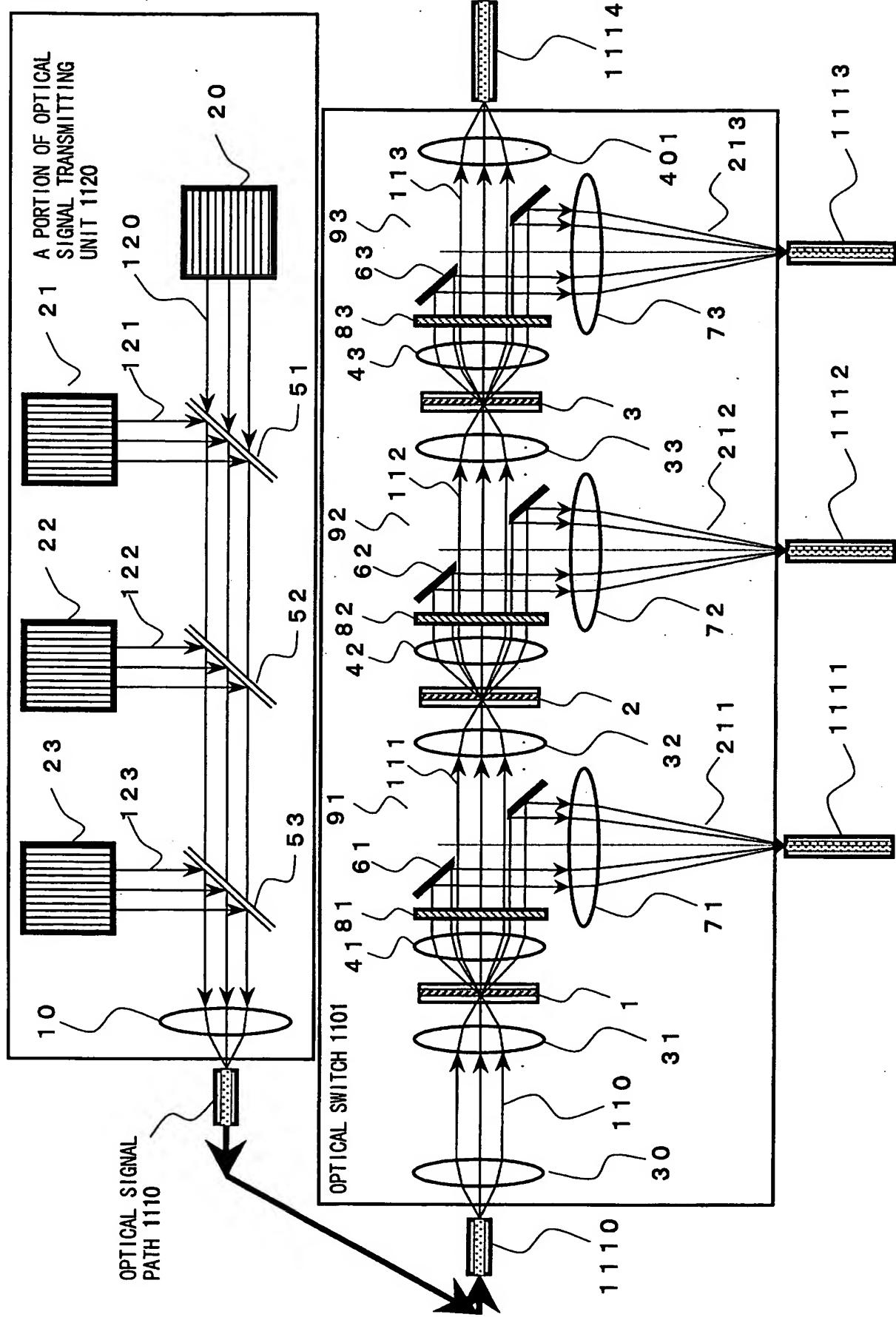
[Fig. 2]



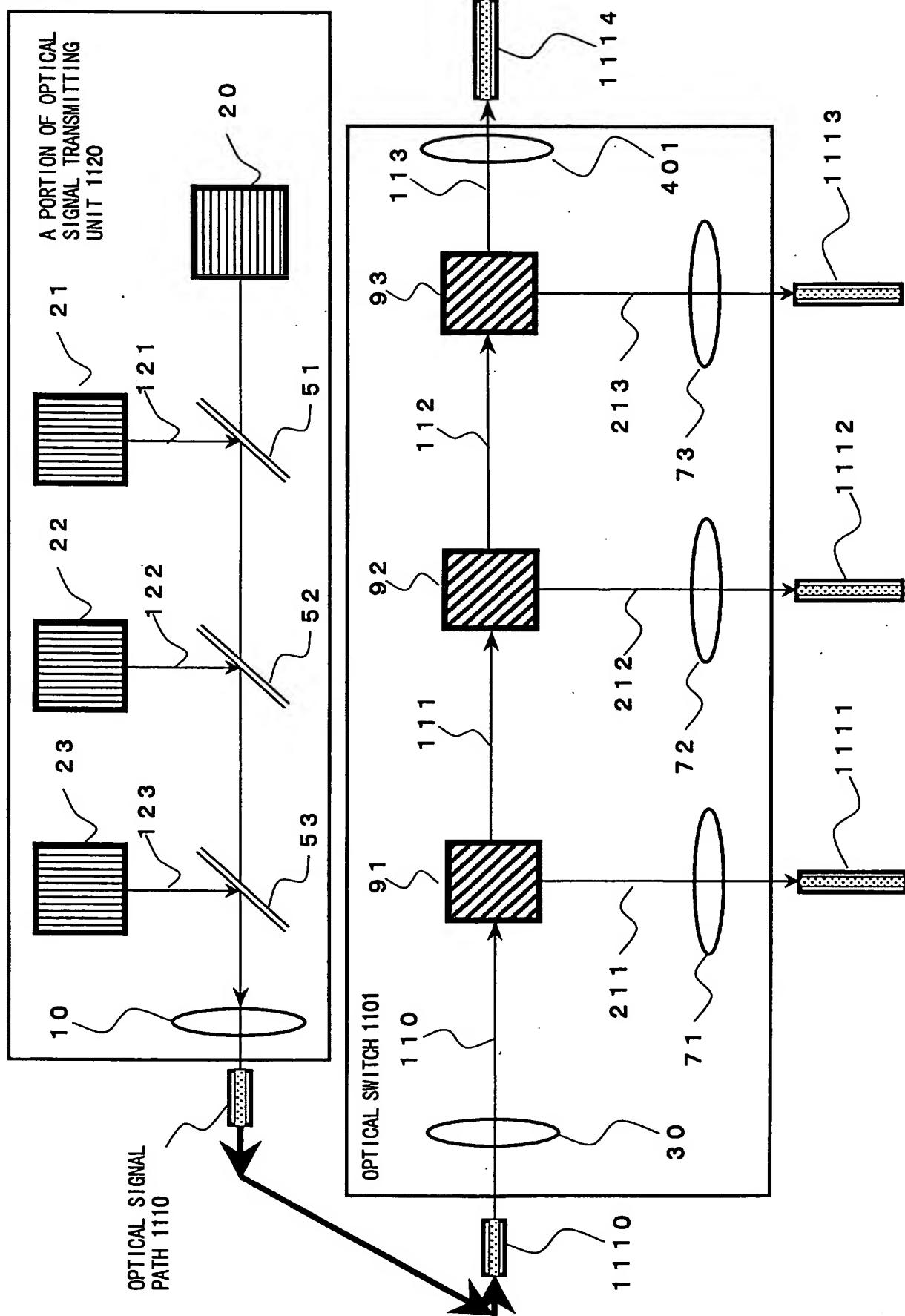
[Fig. 3]



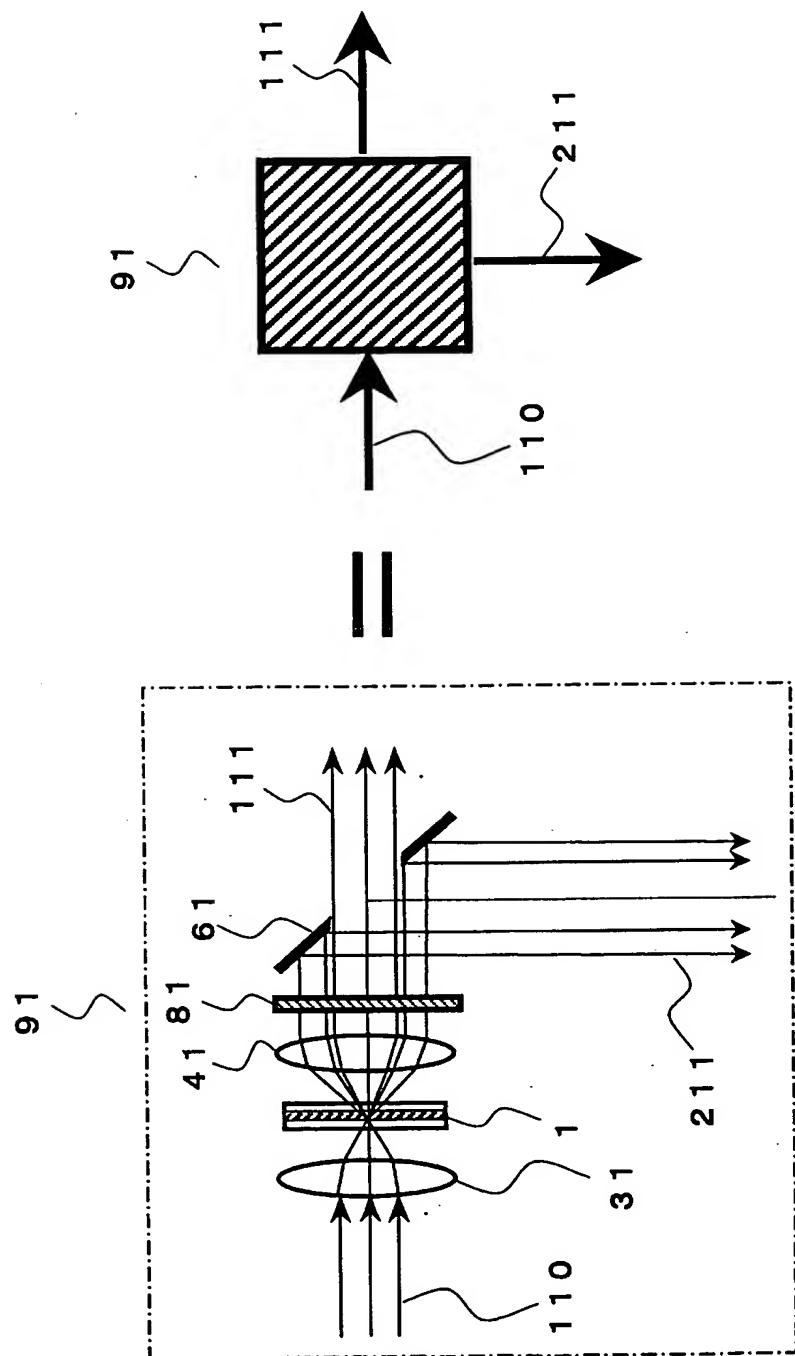
[Fig. 4a]



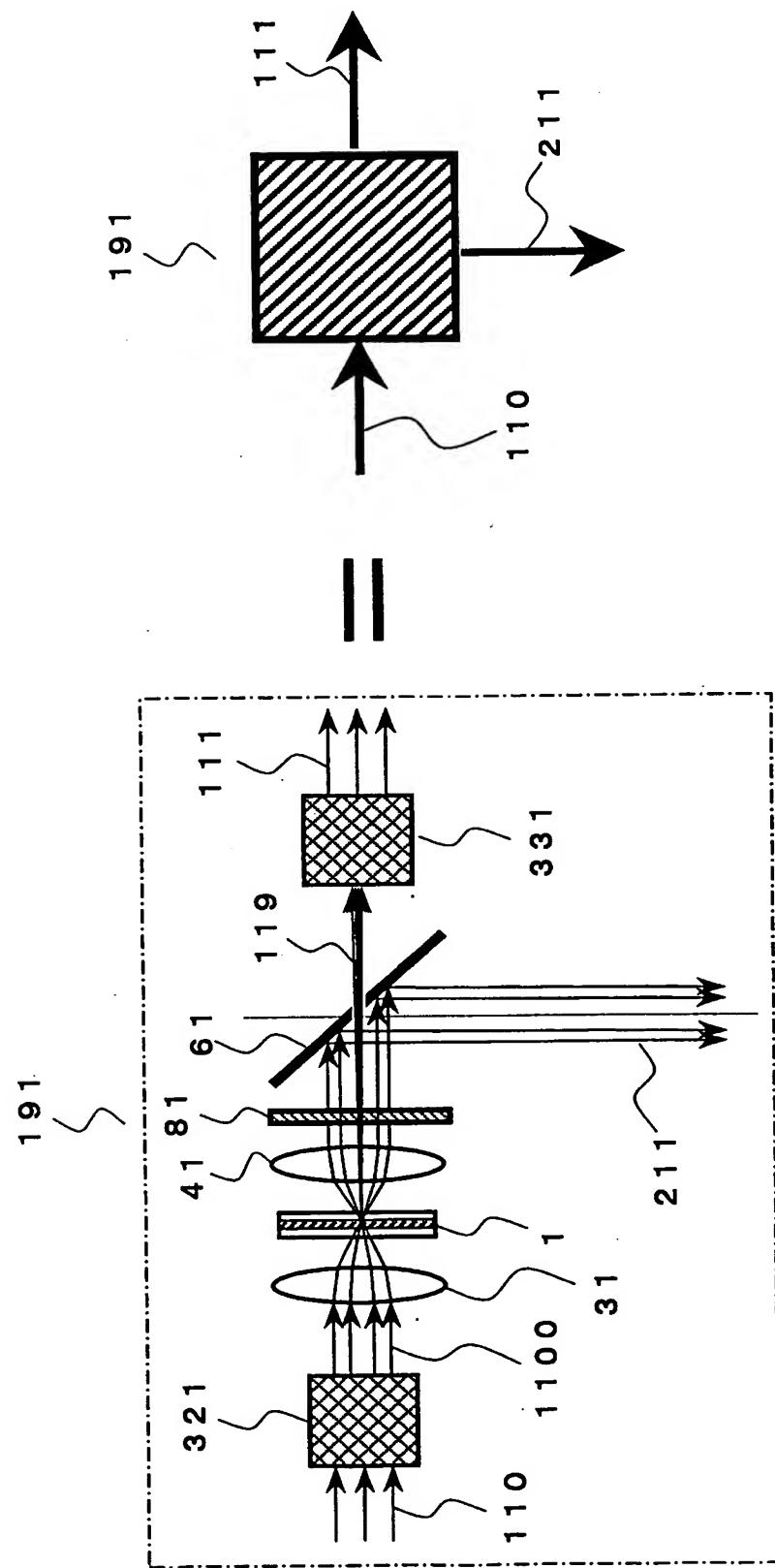
[Fig. 4b]



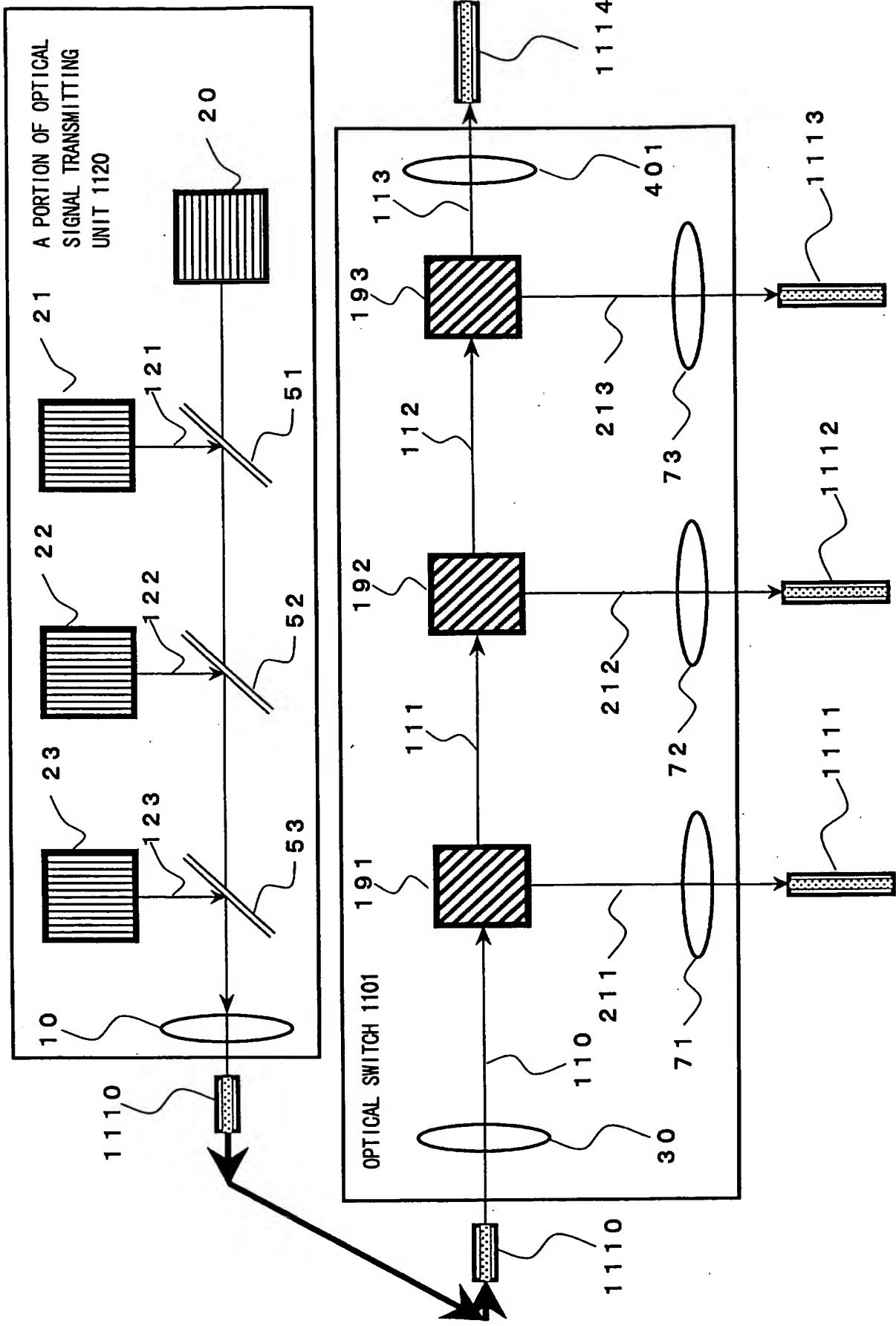
[Fig. 5]



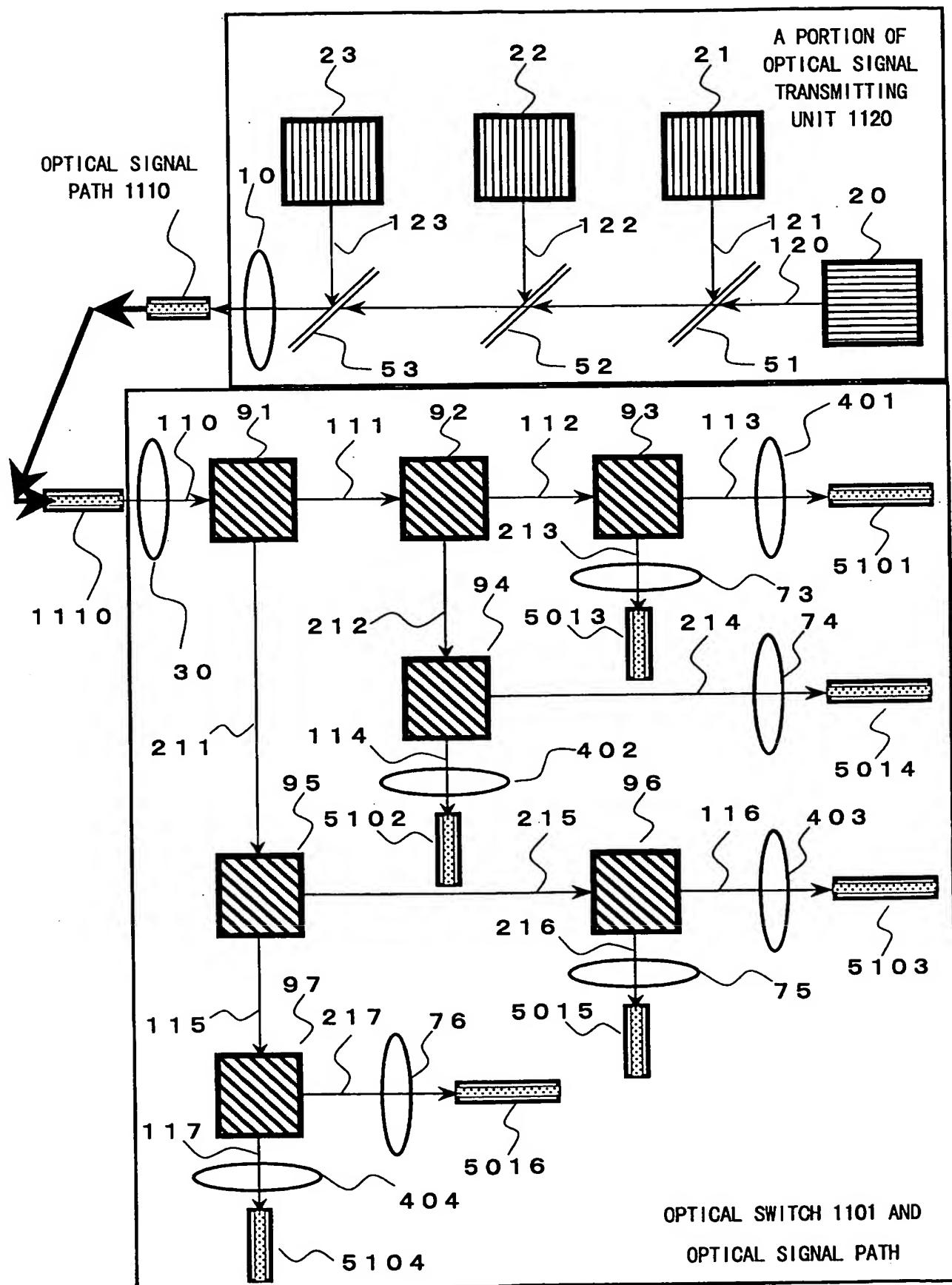
[Fig. 6]



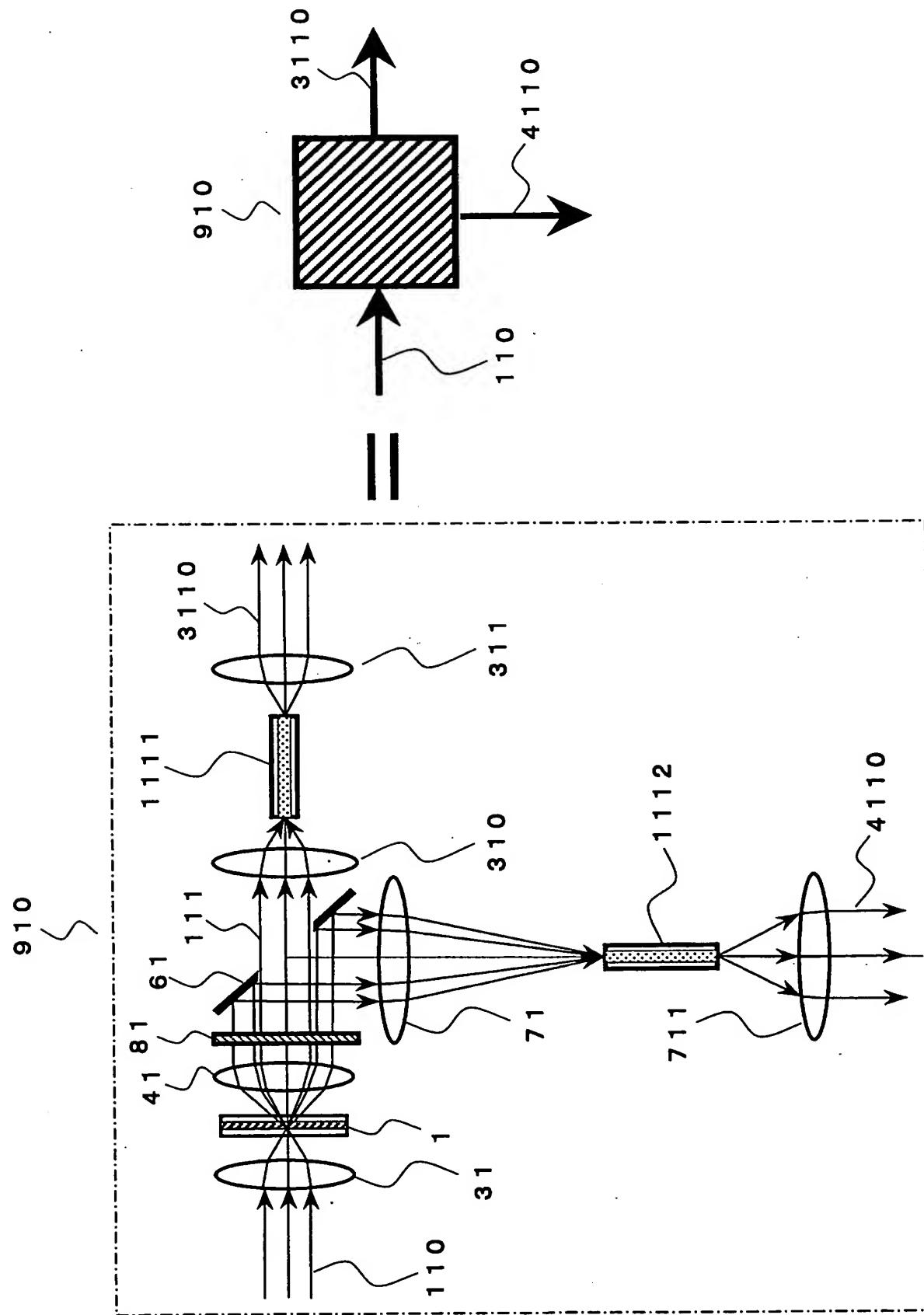
[Fig. 7]



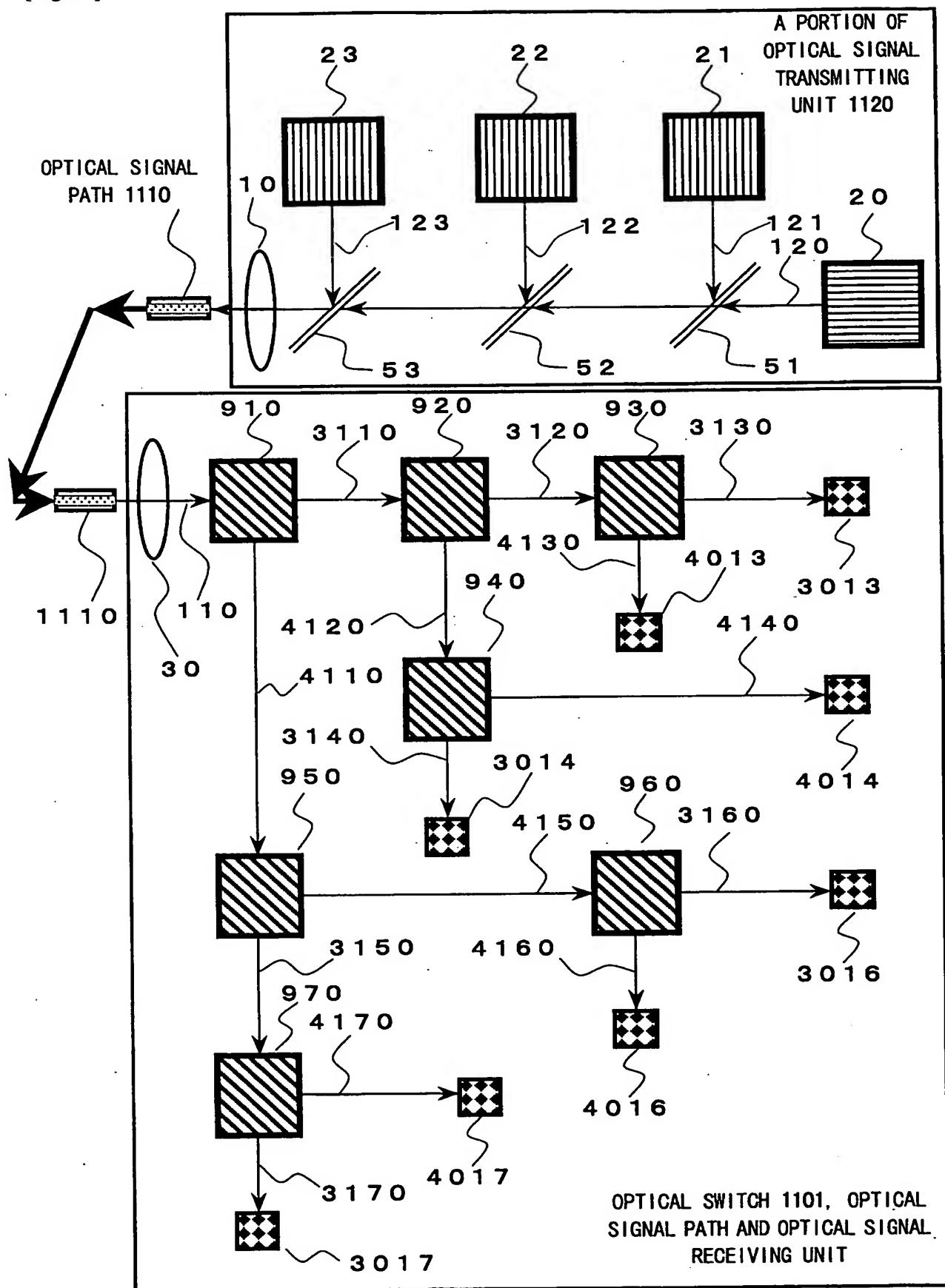
[Fig. 8]



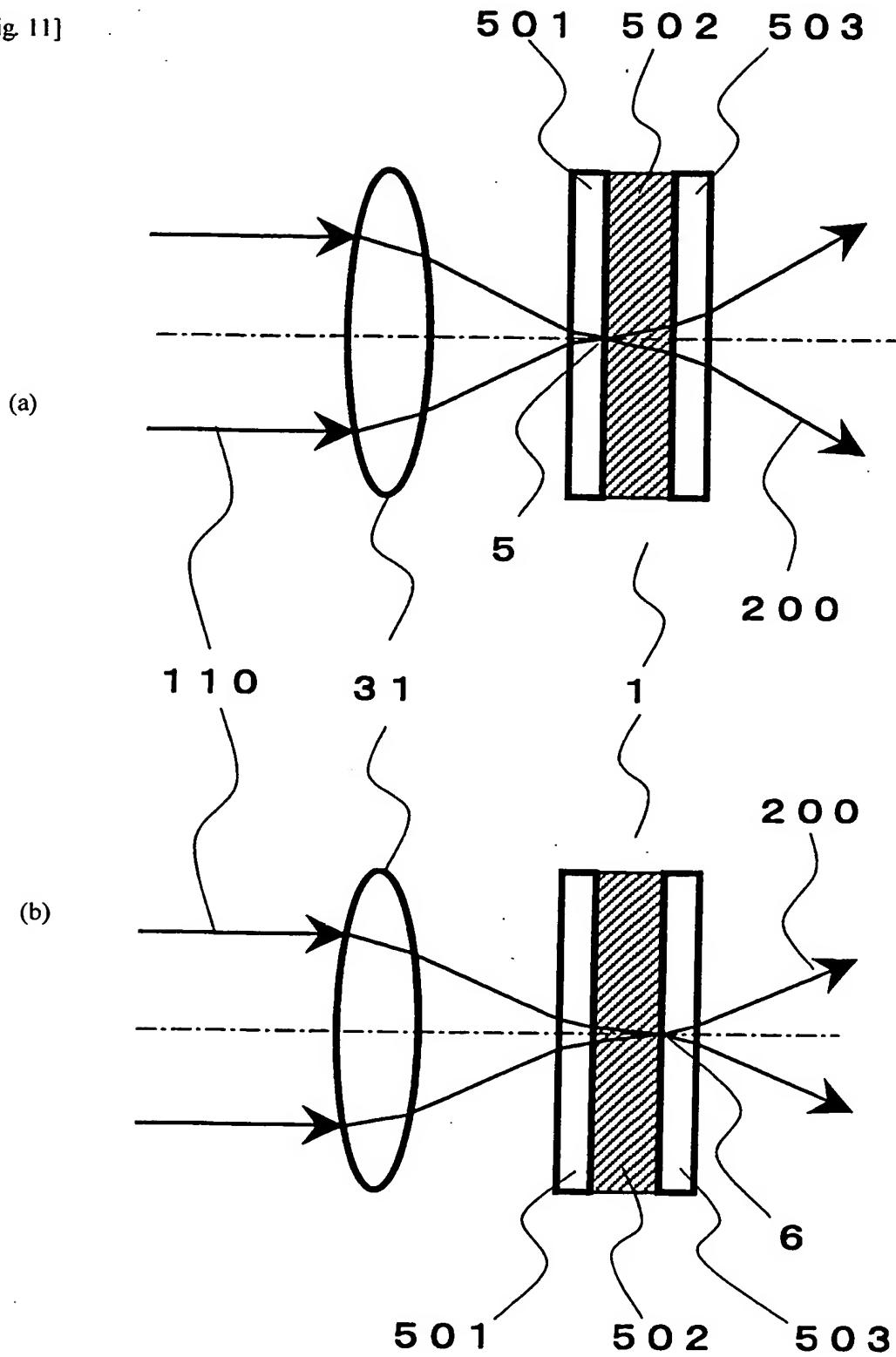
[Fig. 9]



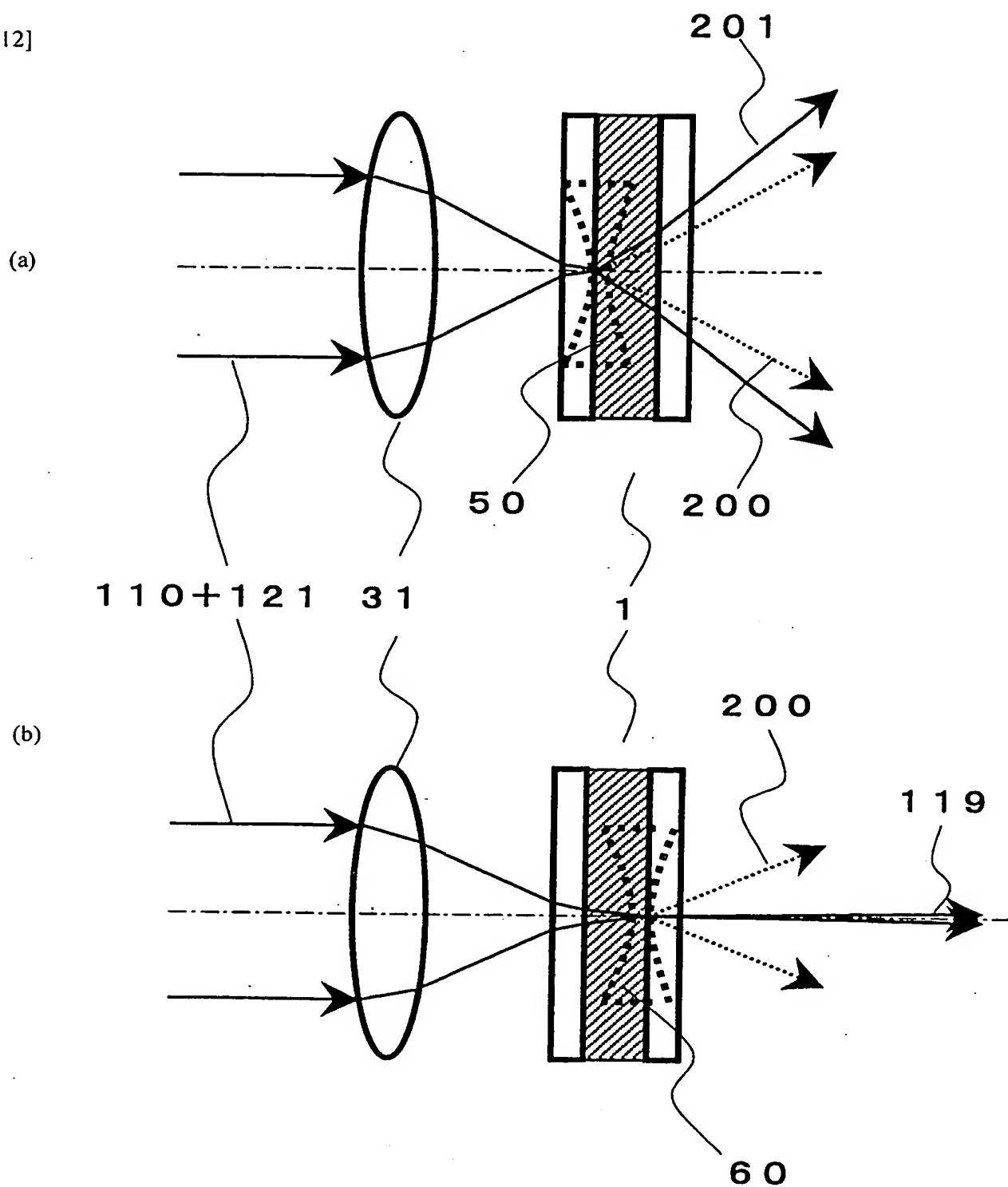
[Fig. 10]



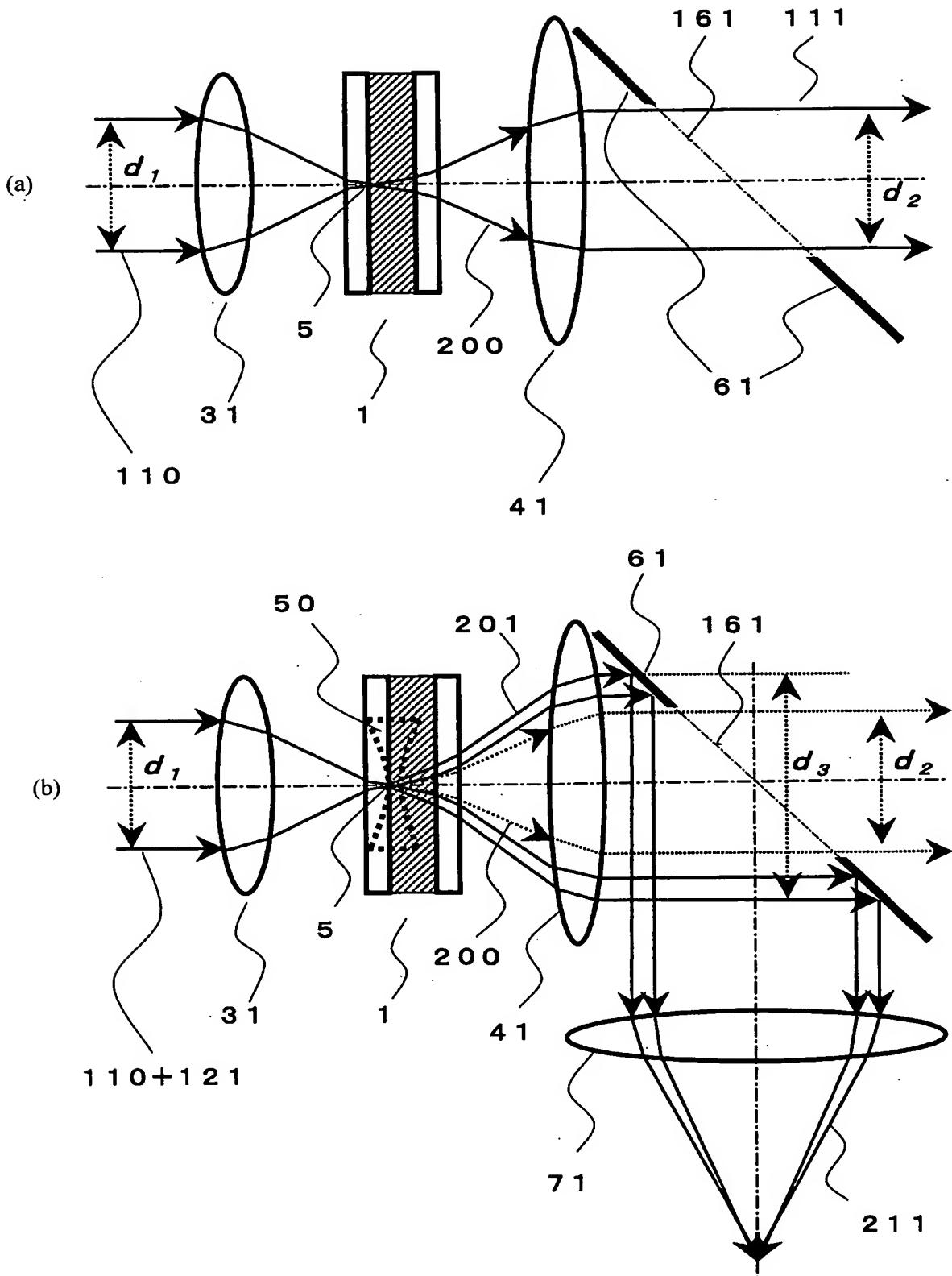
[Fig. 11]



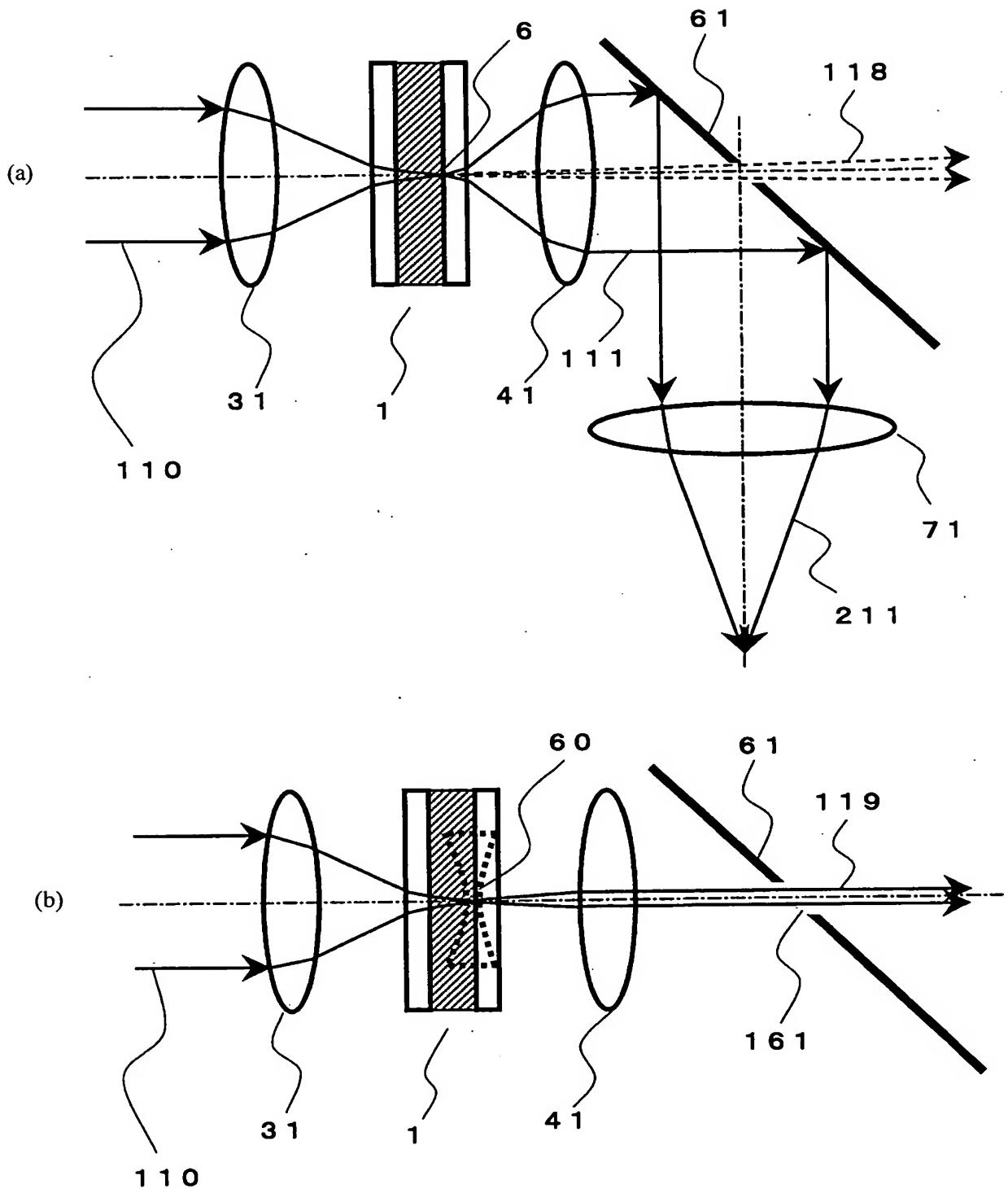
[Fig. 12]



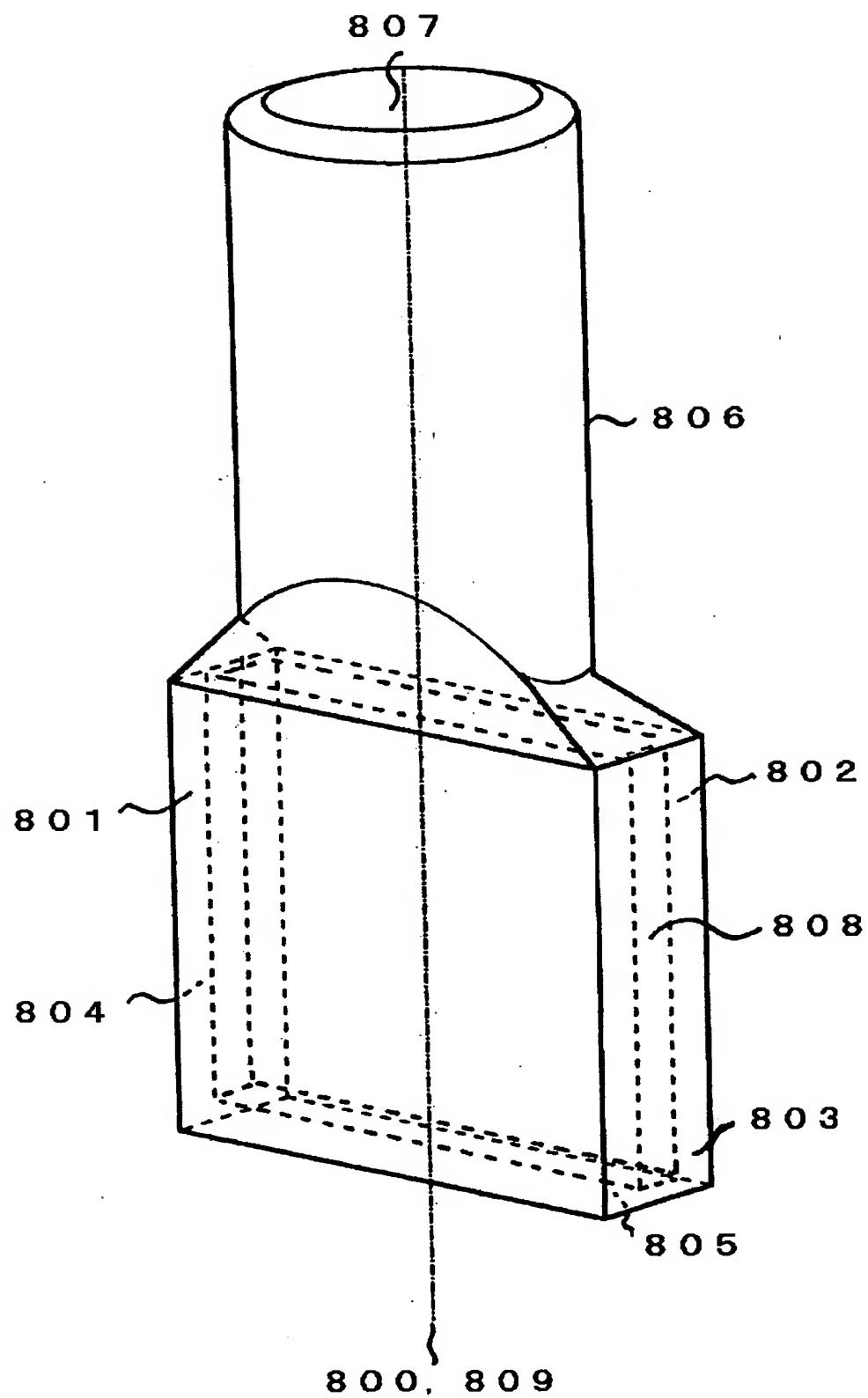
[Fig. 13]



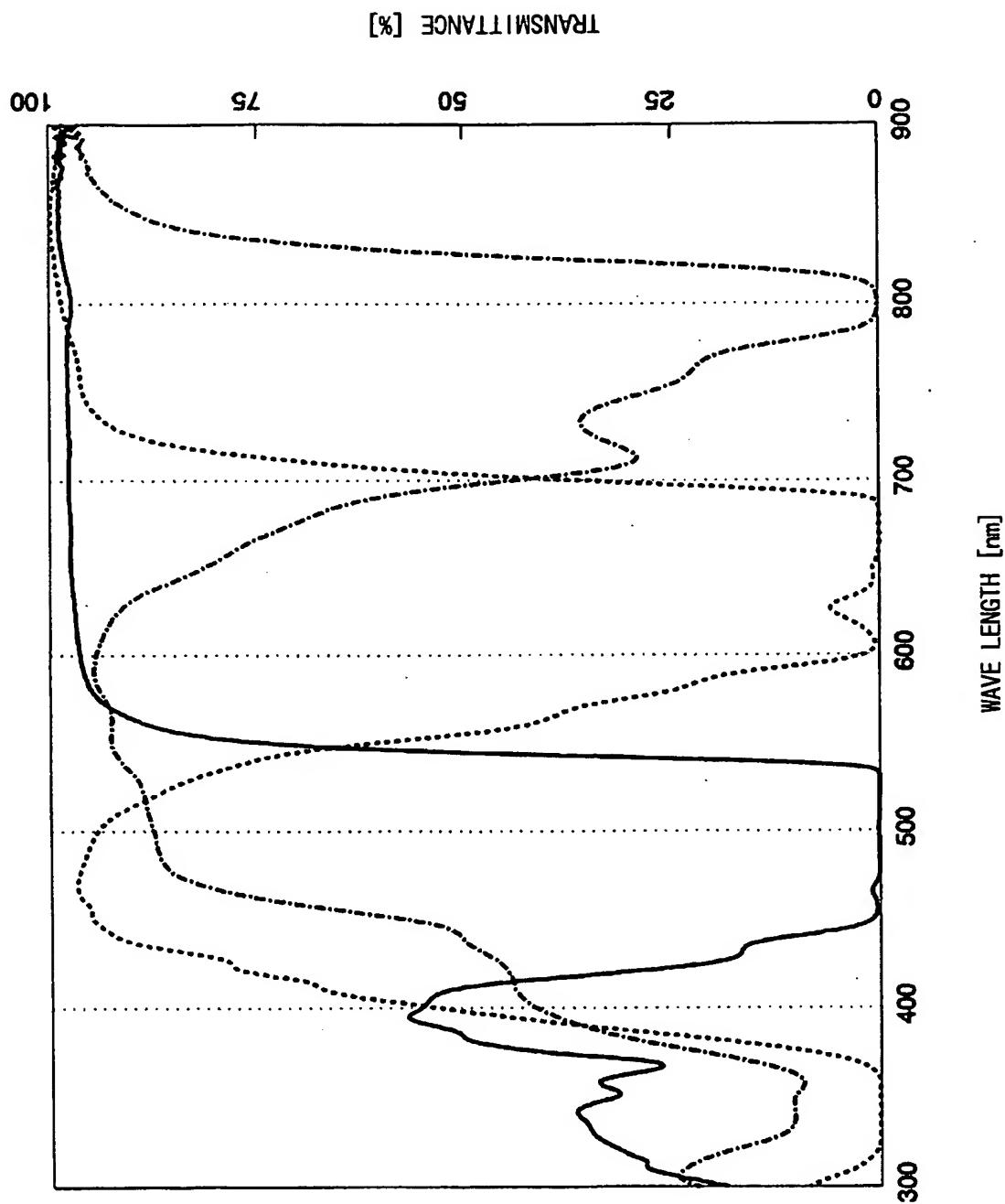
[Fig. 14]



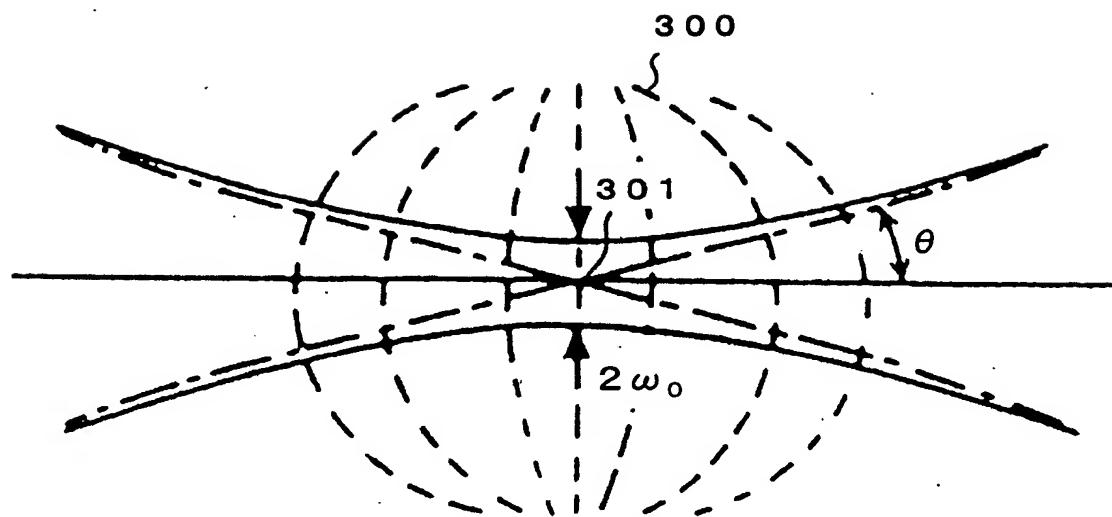
[Fig. 15]



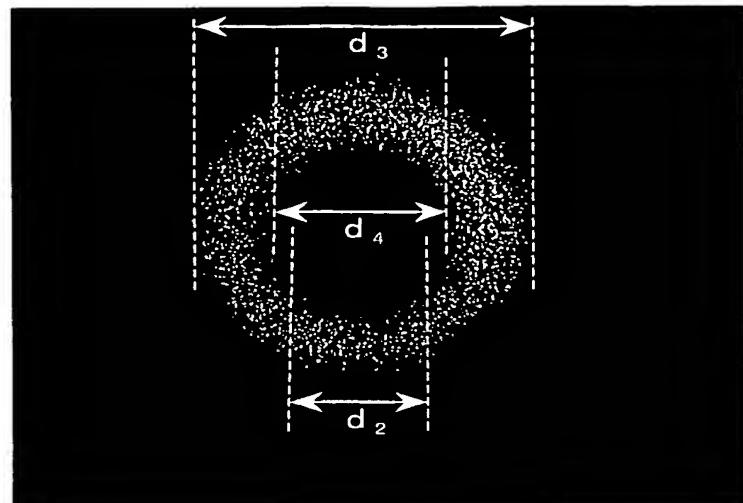
[Fig. 16]



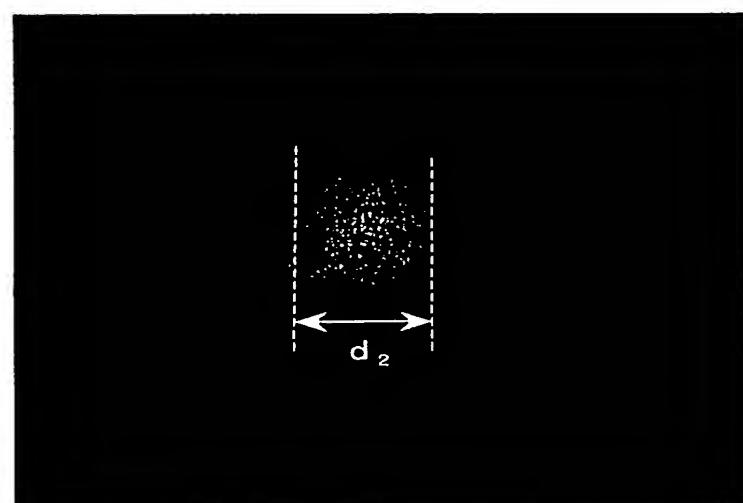
[Fig. 17]



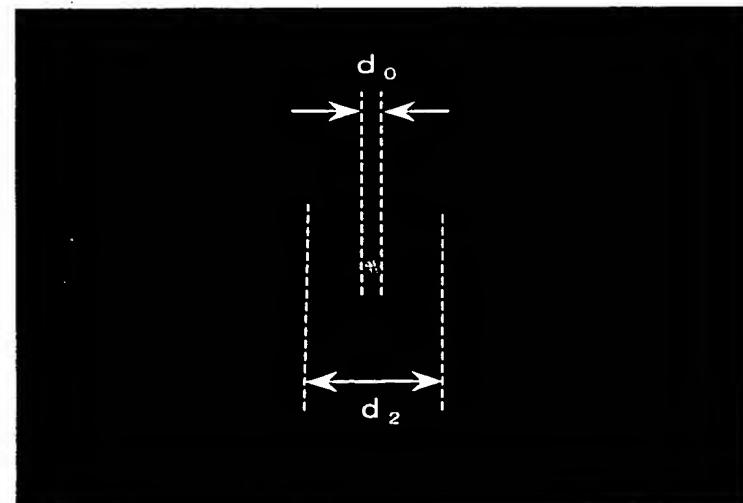
[Fig. 18]



(a)

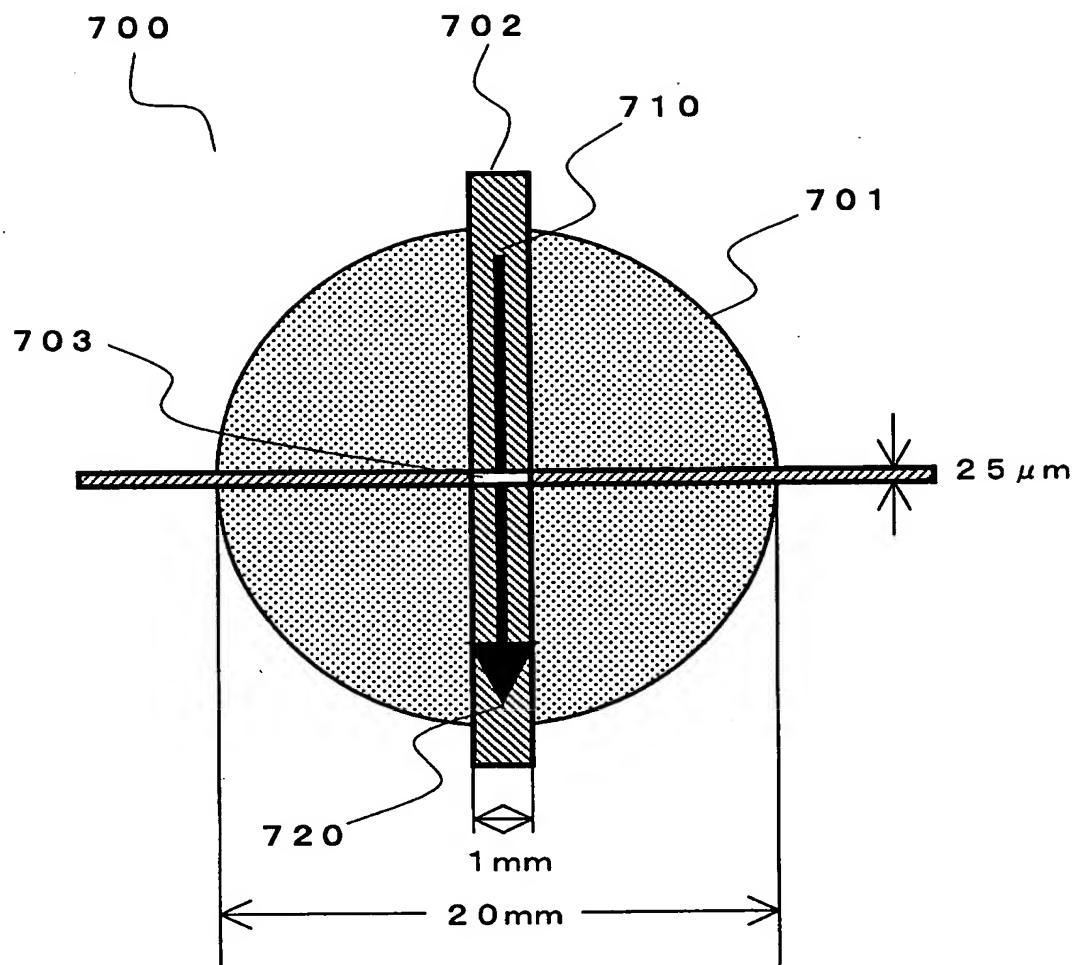


(b)

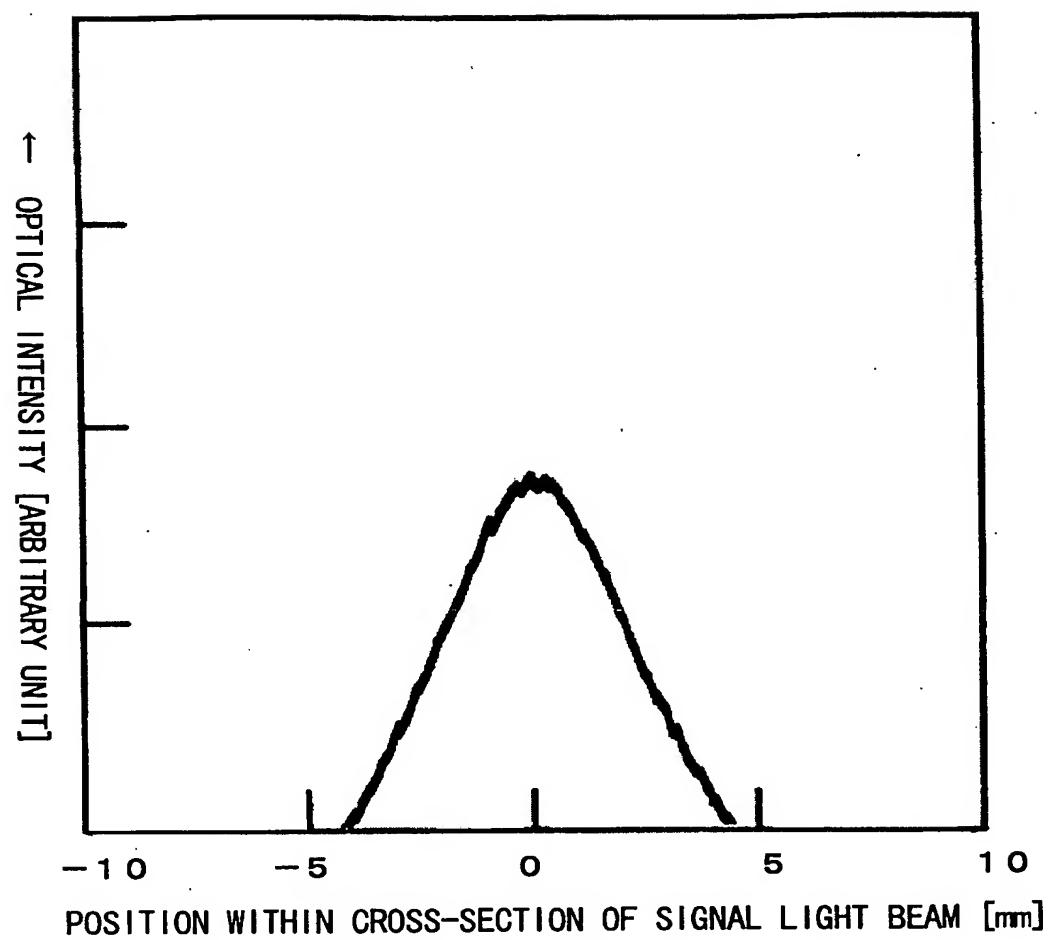


(c)

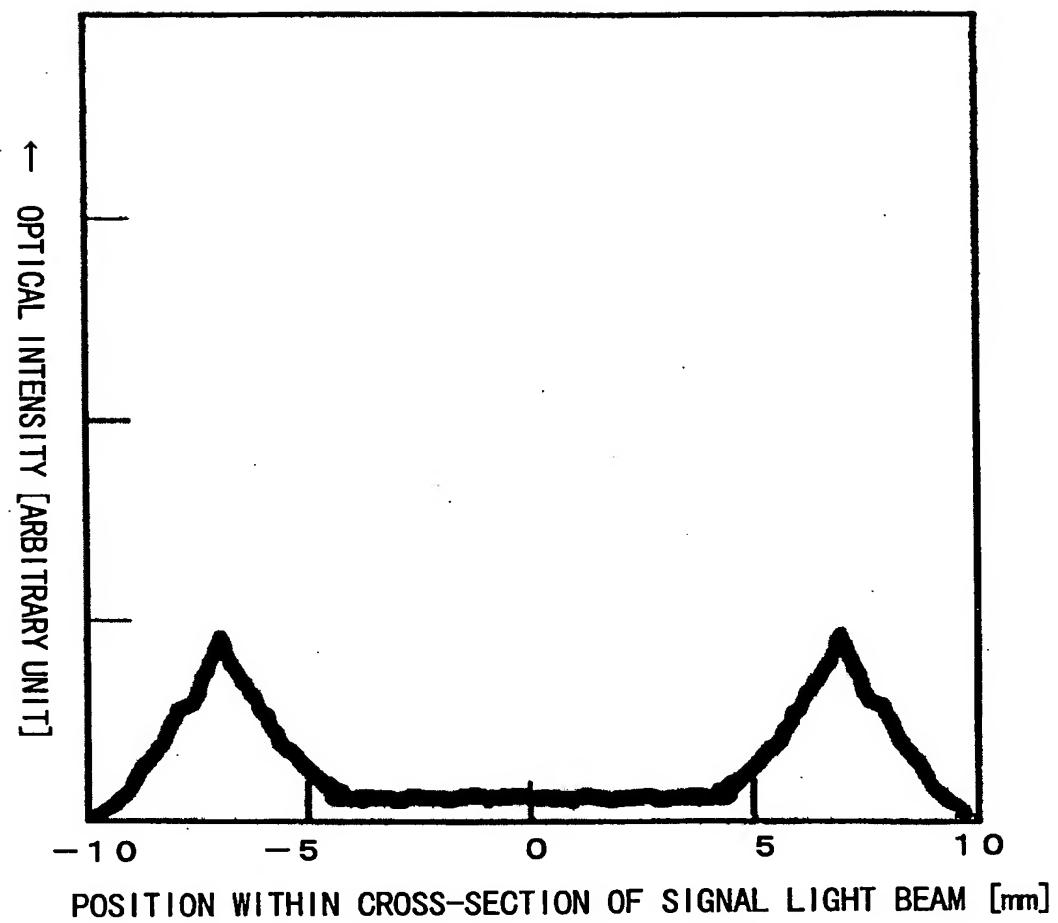
[Fig. 19]



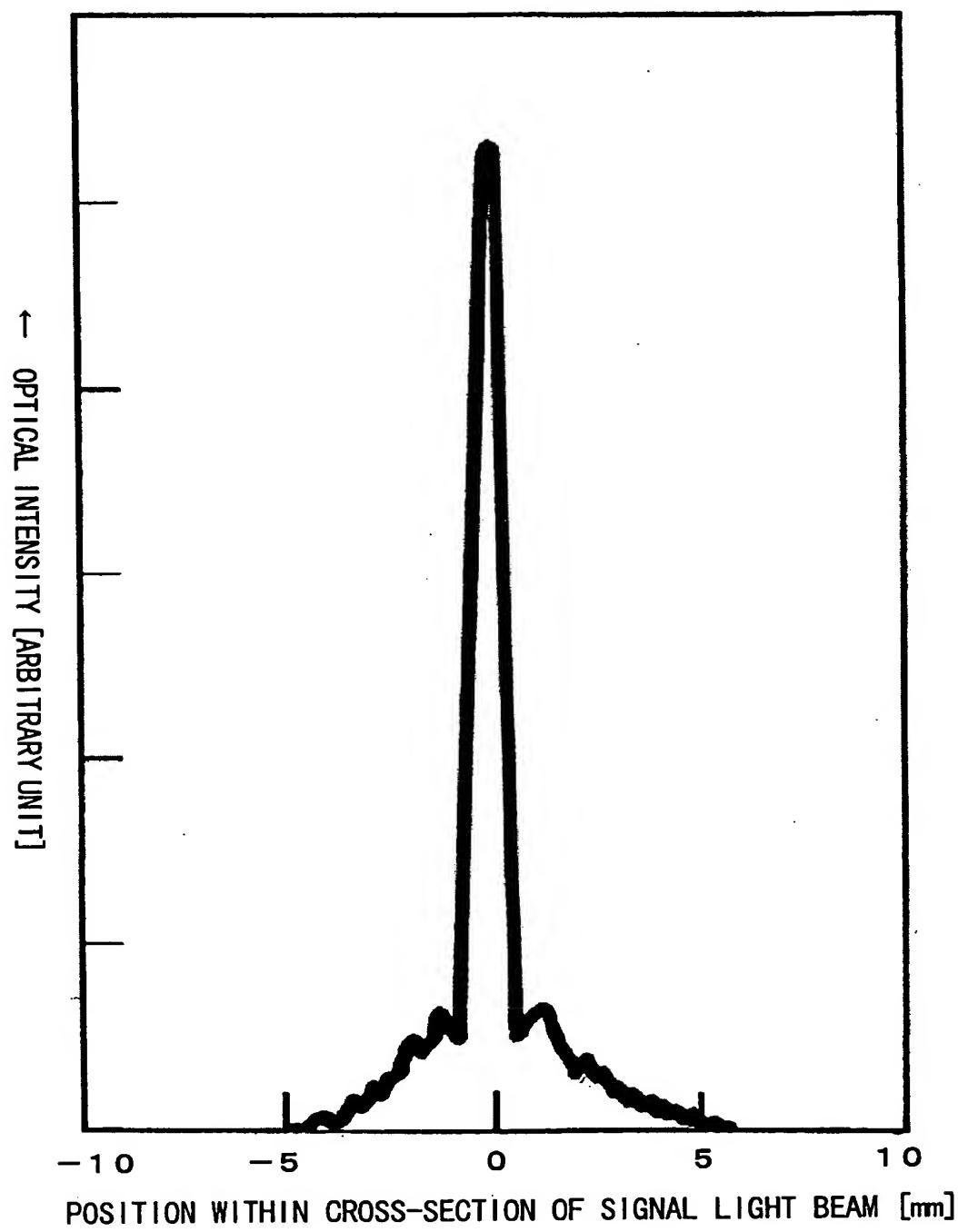
[Fig. 20]



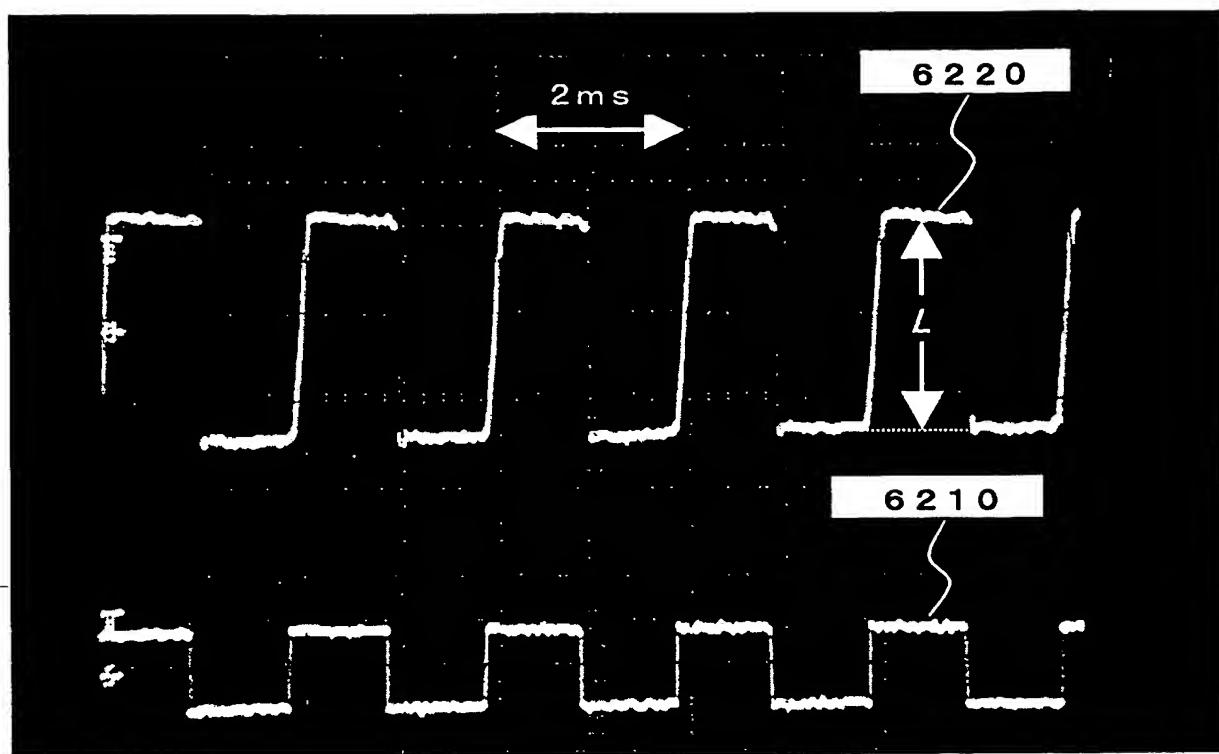
[Fig. 21]



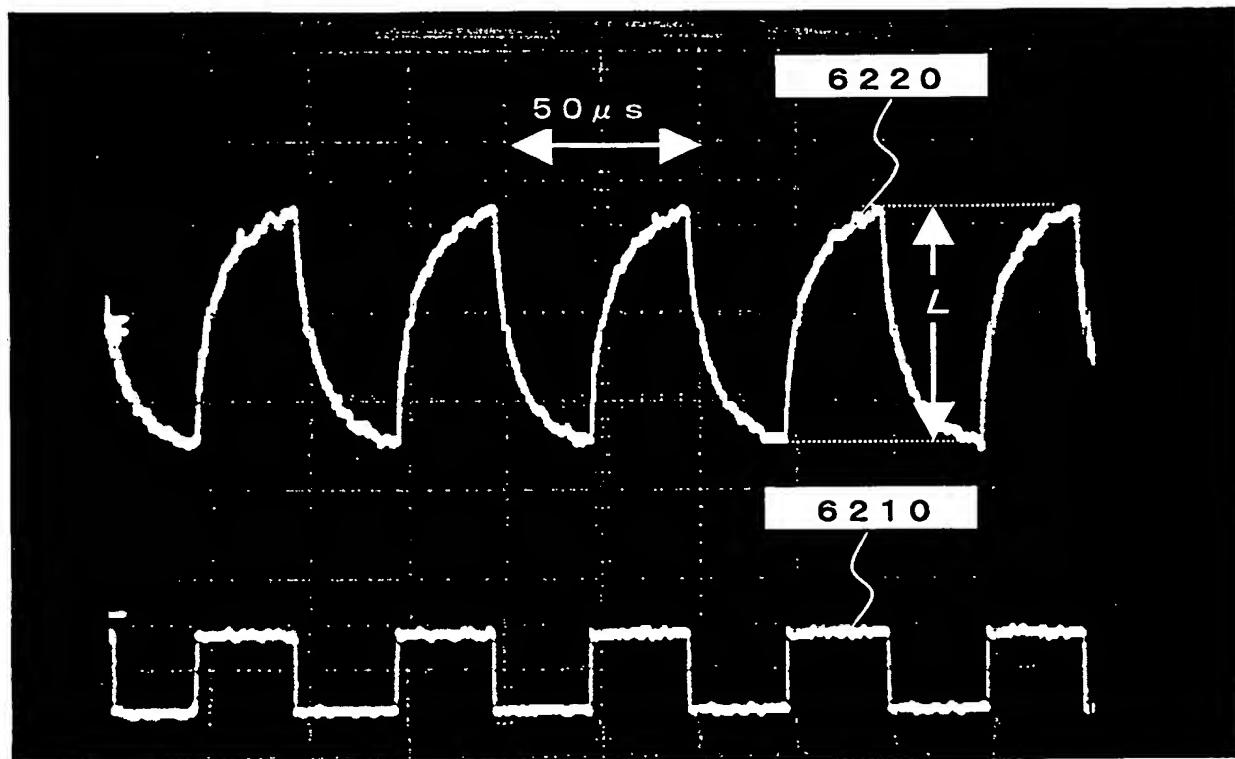
[Fig. 22]



[Fig. 23]



[Fig. 24]



[Fig. 25]

